www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

18e JAARGANG No. 8, blz. 221-252 AUGUSTUS 1956

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

KLEUR EN KLEURWEERGAVE VAN „TL" LAMPEN

door A. A. KRUITHOF en J. L. OUWELTJES. 621.327.534.15:535.625

De buisvormige fluorescentielamp heeft in de verlichtingstechniek allerlei nieuwe problemen aan de orde gesteld, die bij de gloeilamp niet actueel of onoplosbaar waren. Er moesten onderzoekingen worden gedaan en berekeningen op touw worden gezet over de verlichting van gegeven ruimten met behulp van niet-puntvormige lichtbronnen; de constructie van armaturen hiervoor deed de vraag herleven welke helderheden in het gezichtsveld toelaatbaar zijn; het hoge lichtrendement en de witte lichtkleur der eerste fluorescentielampen gaven aanleiding zich opnieuw te bezinnen op de wenselijke verlichtingsniveaus; de mogelijkheid om de spectrale verdeling van het licht der lampen binnen wijde grenzen te variëren, leidde tot onderzoekingen omtrent de meest wenselijke lichtkleur en de afwijkingen in de kleurweergave der lampen. Hoe men door de laatstgenoemde onderzoekingen tot een reeks lampen met in hoge mate natuurlijke kleurweergave is gekomen, wordt in dit artikel beschreven.

De kleur der „TL" lampen

Het is ongeveer 25 jaar geleden dat men de eerste pogingen deed om de lagedrukkwiklamp te voorzien van een fluorescerend poeder op de buiswand en aldus te komen tot een lamp voor algemene verlichting. Het fluorescerende poeder zet de ultraviolette straling van de lagedrukkwikontlading, vooral de spectraallijn met golflengte 2537 Å, om in zichtbaar licht. Dit kan met een goed rendement gebeuren, zodat de resulterende lamp een zeer hoog lichtrendement kan hebben, veel hoger dan dat van de gloeilamp. Het hoge lichtrendement is dan ook een der hoofdkenmerken van de tegenwoordige buisvormige fluorescentielampen („TL" lampen), die uit de genoemde pogingen zijn ontstaan.

Het naarstige speuren naar geschikte fluorescerende stoffen (fosforen) leverde al spoedig zoveel resultaat op dat men de mogelijkheid had, door een mengsel van fosforen als fluorescerend poeder te nemen, licht van een grote verscheidenheid van kleuren op te wekken. Men werd daardoor met de vraag geconfronteerd, welke lichtkleur men moest kiezen.

In het begin was de enige richtlijn dat lampen voor algemene verlichting een „witte" indruk moeten geven. Nadere studie heeft geleerd dat „wit" geenszins een goed gedefinieerde kleur is. Het menselijk oog is zo gewillig, een feestelijk blank tafellaken zowel in daglicht als bij gloeilampenlicht, ja zelfs nog bij kaarsverlichting, „wit" te zien, terwijl het in deze gevallen totaal verschillende stralingen van het laken ontvangt. Men spreekt van „chromatische aanpassing" van het oog [1]).

De verschillen tussen de genoemde stralingen bemerkt het oog pas als zij gelijktijdig in het gezichtsveld aanwezig zijn. Dit nu is een situatie waarmee men in de praktijk van de „TL" verlichting veelvuldig te maken kreeg. De lampen moesten b.v. voor bijverlichting overdag in donkere winkels of kantoren worden gebruikt, of wel in combinatie met een reeds aanwezige, of voor effecten noodzakelijke, gloeilampenverlichting. Bij te grote kleurverschillen kreeg men dan „vals licht" of gekleurde schaduwen — een hinderlijk verschijnsel dat men natuurlijk ook al bij de combinatie van gloeilampenlicht met daglicht tegengekomen was, en dat men daar als onvermijdelijk voor de meeste gevallen had geaccepteerd.

[1]) A. A. Kruithof en P. J. Bouma, Physica **9**, 957, 1942; P. J. Bouma en A. A. Kruithof, Physica **10**, 36, 1943. Zie ook Philips techn. T. **9**, 2-7 en 257-266, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Bij de „TL" lampen, waar de keuze der fosforen een grote vrijheid gaf, behoefde men zich niet bij deze hinderlijke verschijnselen neer te leggen, en zo werd de genoemde vage richtlijn naderhand in die zin gepreciseerd dat de kleur van het „TL" licht moest lijken op die van daglicht of gloeilampenlicht. Een complicatie is hierbij, dat „daglicht" een binnen wijde grenzen continu veranderlijke lichtsoort is, naar gelang van zonshoogte en weersgesteldheid. Ook de kleur van gloeilampenlicht kan enigszins verschillen, naar gelang van de temperatuur van de gloeidraad. Om de gewenste kleur nader te kunnen vastleggen, maakt men gebruik van het feit dat de meeste varianten van het daglicht, evenals het gloeilampenlicht, ten naaste bij overeenkomen met de straling van een zwart lichaam dat op bepaalde temperaturen gloeit. Men kan derhalve de lichtsoort kenmerken door de temperatuur van het overeenkomstige zwarte lichaam (kleurtemperatuur). In *tabel I* is voor een reeks lichtsoorten de kleurtemperatuur vermeld.

Tabel I. Kleurtemperaturen van een reeks lichtsoorten.

Lichtbron	Kleurtemperatuur in °K
Blauwe hemel	10 000-20 000
Bedekte hemel	5000-7500
Direct zonlicht (12 uur)	ca. 5000
Koolboog	ca. 3750
Fotolamp	ca. 3200
Gloeilamp	2400-3000
Kaars	1900

Behalve aan „TL" lampen voor combinatie met daglicht òf gloeilampen, werd ook gedacht aan een lamp die met beide lichtsoorten moest kunnen worden gecombineerd. Natuurlijk betreft het dan een compromis. Om de keuze van de kleur voor zulk een lamp toe te lichten, moeten we gebruik maken van de bekende voorstelling van kleuren door punten in een kleurendriehoek [2]); zie *fig. 1*. De punten voor het zwarte lichaam dat op verschillende temperaturen gloeit, liggen in de figuur op een bepaalde kromme, en op of nabij deze kromme zullen zich ook de punten voor de gekozen soorten „daglicht" (D) en „gloeilampenlicht" (G) bevinden. Een voor de hand liggende keuze voor het compromis zou zijn het kleurpunt halverwege op de verbindingslijn tussen D en G. De kleurcontrasten ten opzichte van D en G blijken echter nog iets minder hinderlijk te zijn bij een kleurpunt dat weer op (of heel nabij) de kromme der zwarte lichamen gelegen is, en welks kleurtemperatuur dichter bij G dan bij D ligt.

Een andere overweging om een lamp met kleurpunt tussen D en G te creëren, was, dat de kleur Daglicht — ook in het geval dat de lamp niet in combinatie met natuurlijk daglicht wordt gebruikt — slechts aangenaam wordt gevonden bij relatief hoge verlichtingsniveaus. Dit punt is uitvoerig besproken in een vroeger artikel in dit tijdschrift (Philips techn. T. **6**, 69, 1941, fig. 10).

Al tastend en zoekend is men zo voor de 40 W „TL" lampen tot drie standaarduitvoeringen gekomen, die aan de behoeften van de praktijk bleken te beantwoorden en die de volgende kleurtemperaturen en kleurpunten hebben [3]):

a) „Koel daglicht", 6800 °K, met de trichromatische coëfficiënten (coördinaten in de kleurendriehoek) $x = 0{,}308$, $y = 0{,}324$ (zie fig. 1). Deze lampen kunnen zeer goed in combinatie met gemiddeld daglicht worden gebruikt.

b) „Warmwit", 2900 °K, trichromatische coëfficiënten $x = 0{,}440$, $y = 0{,}399$. Deze lampen zijn geschikt om tezamen met gloeilampen te worden gebruikt; hun licht is slechts weinig blauwer dan dat van grote gloeilampen (kleurtemperatuur tussen 2600 en 2850 °K).

c) „Wit", 4200 °K, trichromatische coëfficiënten $x = 0{,}371$, $y = 0{,}368$. Deze lampen kunnen zo nodig met daglicht alsook met gloeilampen worden gecombineerd.

Natuurlijk moet men, om deze lampen te kunnen maken, beschikken over fosforen die voldoende vrijheid geven om de gewenste kleurpunten te realiseren. Hoe het met deze vrijheid gesteld is, overziet men gemakkelijk als men de kleurpunten der fosforen in de kleurendriehoek aangeeft. In fig. 1 ziet men de kleurpunten van drie fosforen die voor „TL" lampen in aanmerking komen, nl. calciumsilicaat, geactiveerd door lood en mangaan, calciumwolframaat, en zinksilicaat (willemiet), geactiveerd door mangaan. Elk kleurpunt binnen de door deze drie punten bepaalde driehoek kan men verkrijgen door de genoemde drie fosforen in bepaalde verhoudingen te mengen. Tegenwoordig gebruikt men voor de fluorescerende laag vaak een halofosfaat, waarbij een zekere kleurmenging als het ware reeds in één fosfor plaatsvindt [4]). De

[2]) Zie hierover b.v. P. J. Bouma, Philips techn. T. **1**, 283-287, 1936 en **2**, 39-46, 1937; uitvoeriger uiteenzettingen in het boek van dezelfde schrijver: Kleuren en kleurindrukken, Philips' techn. Bibl., uitg. Meulenhoff, Amsterdam 1946.

[3]) Er wordt getracht ook tot een internationale vaststelling der standaardkleuren te komen. De daarbij voorgestelde drie kleurpunten wijken slechts zeer weinig van de hier vermelde af.

[4]) J. L. Ouweltjes, Nieuwe fosforen voor „TL" lampen, Philips techn. T. **13**, 338-343, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

halofosfaten hebben nl. twee emissiebanden, een blauwe (rondom 4800 Å) en een oranje (rondom 5900 Å); de ligging van de laatstgenoemde band en de sterkteverhouding van beide banden kan men door variaties in de samenstelling van het halofosfaat enigszins variëren, zodat men wederom een, zij het smalle, driehoek van kleurpunten kan bestrijken.

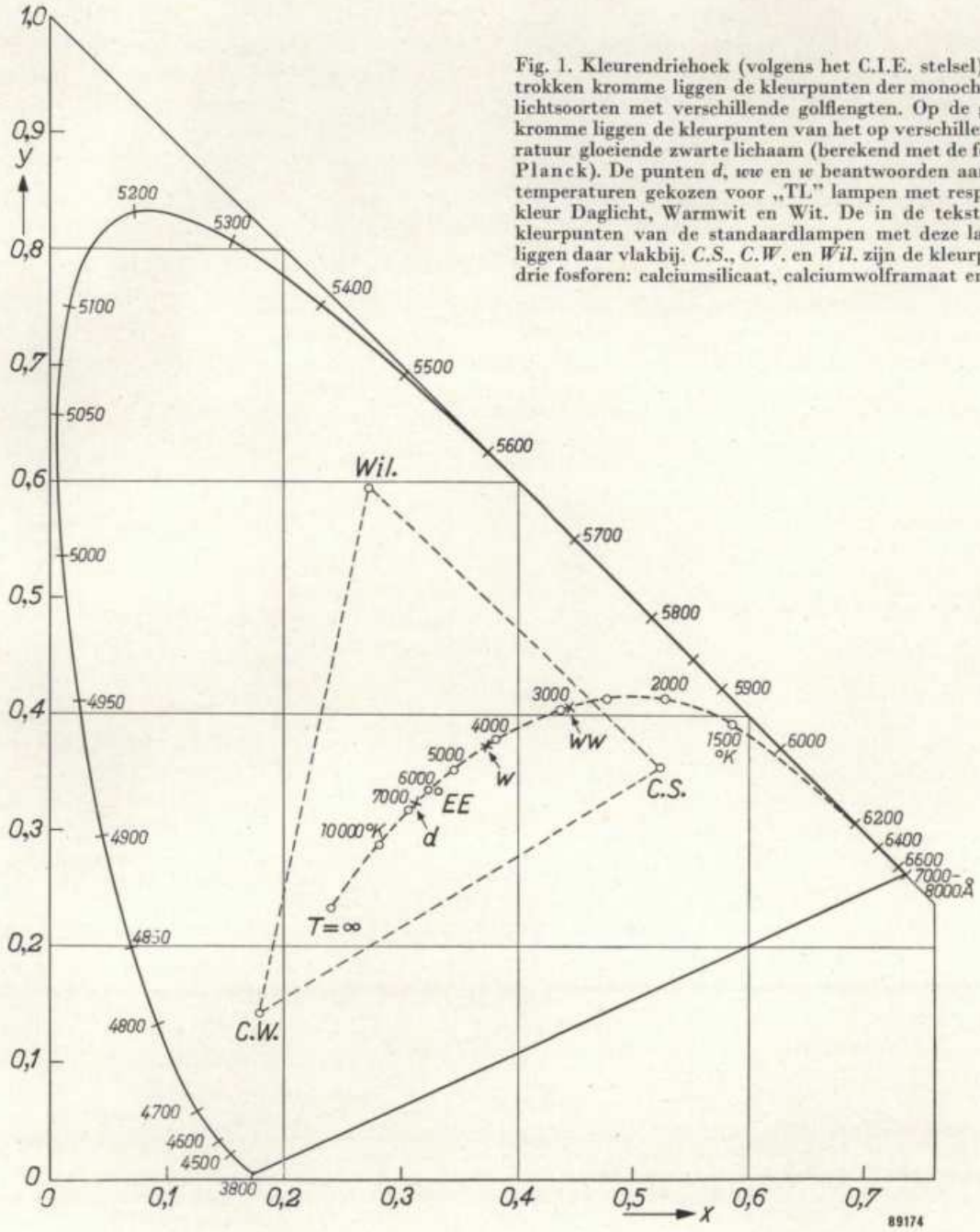


Fig. 1. Kleurendriehoek (volgens het C.I.E. stelsel). Op de getrokken kromme liggen de kleurpunten der monochromatische lichtsoorten met verschillende golflengten. Op de gestippelde kromme liggen de kleurpunten van het op verschillende temperatuur gloeiende zwarte lichaam (berekend met de formule van Planck). De punten *d*, *ww* en *w* beantwoorden aan de kleurtemperaturen gekozen voor „TL" lampen met resp. de lampkleur Daglicht, Warmwit en Wit. De in de tekst genoemde kleurpunten van de standaardlampen met deze lampkleuren liggen daar vlakbij. *C.S.*, *C.W.* en *Wil.* zijn de kleurpunten van drie fosforen: calciumsilicaat, calciumwolframaat en willemiet.

Een belangrijk voordeel van de halofosfaten is dat het kleurpunt van de lampen in de massafabricage gemakkelijker reproduceerbaar is en dat bovendien kleine afwijkingen van de receptuur uitsluitend aanleiding geven tot verschuivingen van het kleurpunt ongeveer langs de lijn der zwarte lichamen. Een dergelijke verschuiving is veel minder hinderlijk dan een verschuiving loodrecht hierop.

Tot besluit van deze inleiding willen wij nog in het kort beschrijven, hoe men de verhoudingen berekent waarin men drie gegeven fosforen (of beter gezegd: hun lichtbijdragen) moet mengen om een lamp met gekozen kleurpunt (x, y) te realiseren. De hierbij gebruikte formules liggen immers ten grondslag aan alle berekeningen waarover verder in dit artikel wordt gesproken.

De formules worden het eenvoudigst als we in plaats van de trichromatische coëfficiënten de trichromatische coördinaten (coördinaten in de driedimensionale kleurenruimte)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

der kleurpunten van de fosforen invoeren: $X_1Y_1Z_1$, $X_2Y_2Z_2$, $X_3Y_3Z_3$ [5]). Elke trichromatische coördinaat van de kleur van een mengsel is nl. de som der desbetreffende coördinaten van de componenten, elk vermenigvuldigd met een factor die de mengverhouding bepaalt (α, β, γ). De coördinaten Y_1, Y_2, Y_3 hebben de betekenis van de lichtstroom die elk der fosforen zou leveren in een 40 W-lamp die alléén deze fosfor bevat (alle berekeningen worden opgezet voor een constant lampvermogen, nl. 40 W). Het mengsel geeft in een 40 W-lamp de lichtstroom $\alpha Y_1 + \beta Y_2 + \gamma Y_3$. De lichtstromen Y_1, Y_2, Y_3 zijn natuurlijk verschillend, daar de fosforen de geabsorbeerde ultraviolette quanta omzetten in quanta waarvoor ons oog in verschillende mate gevoelig is. Het „quantumrendement", d.i. het aantal uitgezonden zichtbare quanta gedeeld door het aantal geabsorbeerde ultraviolette quanta, is wèl voor alle praktisch gebruikte fosforen vrijwel even groot, ongeveer 90%; voor hetgeen volgt, onderstellen we dat het altijd precies even groot is.

Behalve het fluorescentielicht levert een „TL" lamp steeds een hoeveelheid zichtbaar licht dat rechtstreeks van de kwikontlading afkomstig is; dit wordt vrijwel niet door de fluorescerende laag geabsorbeerd, deze lichtstroombijdrage hangt dus alleen van het gegeven vermogen van de lamp af, niet van de aard en mengverhouding der fosforen. De trichromatische coördinaten van het kleurpunt van dit kwiklicht noemen we $X_{Hg}Y_{Hg}Z_{Hg}$, die van het licht van de resulterende lamp X Y Z. Er geldt dan:

$$\left.\begin{aligned} X &= \alpha X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3 + X_{Hg}, \\ Y &= \alpha Y_1 + \beta Y_2 + \gamma Y_3 + Y_{Hg}, \\ Z &= \alpha Z_1 + \beta Z_2 + \gamma Z_3 + Z_{Hg}. \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \quad (1)$$

De factoren α, β, γ moeten voldoen aan de voorwaarde

$$\alpha + \beta + \gamma = 1, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

omdat het quantumrendement van alle fosforen even groot is en bij gegeven vermogen van de ontlading het totale aantal beschikbare quanta dat de fosforen kunnen omzetten, constant is (d.w.z. onafhankelijk van de samenstelling van het poeder); vergroten van één bijdrage gaat dus steeds ten koste van de beide andere bijdragen. Verder zijn voor de gewenste lamp voorgeschreven de trichromatische coëfficiënten [5]):

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z}, \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z}. \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

(Dat niet de drie trichromatische coördinaten van de lamp kunnen zijn voorgeschreven, hangt ermee samen dat men bij gegeven vermogen de totale lichtstroom van de lamp, wegens het vooralsnog onbekende resulterende lichtrendement van het fosformengsel, niet kan voorspellen.) Door de zes vergelijkingen (1), (2), (3) zijn de zes grootheden α, β, γ, X, Y, Z bepaald en men kan dus de vereiste mengverhoudingen berekenen. Ligt het voorgeschreven kleurpunt binnen de bovengenoemde driehoek der fosforen, dan vindt men altijd voor α, β, γ positieve waarden, d.w.z. de kleur is realiseerbaar.

[5]) Over de coördinaten X, Y, Z in de kleurenruimte en de zg. trichromatische coëfficiënten x, y die een punt in de kleurendriehoek vastleggen, zie b.v. het in [2]) aangehaalde boek, blz. 76ff en 84ff.

De kleurweergave

Tot dusver hebben wij alleen over kleurpunten gesproken, maar buiten beschouwing gelaten het feit dat lichtsoorten met geheel verschillende spectrale energiestroomverdeling een zelfde kleurpunt kunnen hebben. Dit wordt geïllustreerd door *fig. 2*. De straling *a* met zg. „spectrum van gelijke energie" (energiestroom in golflengtegebiedje $\Delta\lambda$ bij alle golflengten even groot) maakt een „witte" indruk en heeft het kleurpunt $x = 1/3$, $y = 1/3$ (*EE* in fig. 1). Straling *b* met een spectrum dat alleen de golflengten $\lambda = 5890$ Å en, met dubbele energiestroom, $\lambda = 4860$ Å bevat (in de figuur duidelijkheidshalve tot twee golflengtegebiedjes verbreed), heeft hetzelfde kleurpunt en maakt dus dezelfde witte indruk. De kleuren van willekeurige voorwerpen echter worden door de beide lichtsoorten in het algemeen geheel verschillend weergegeven.

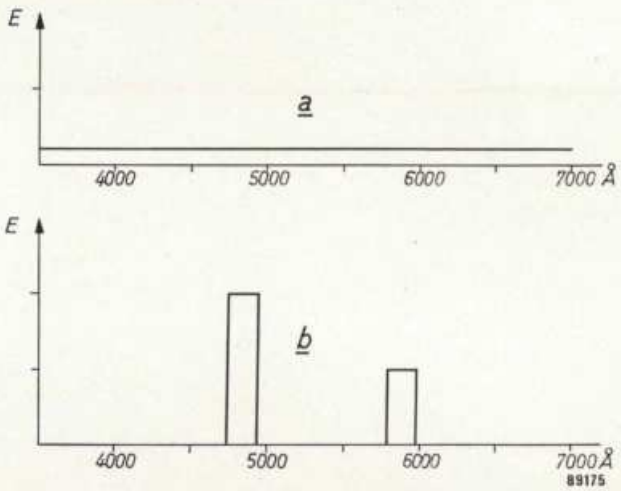


Fig. 2. De lichtbron met spectrale energiestroomverdeling *a* (zg. spectrum van gelijke energie) heeft dezelfde, witte, kleur en dezelfde lichtstroom als die met verdeling *b*. Het kleurpunt van deze lichtbronnen in de kleurendriehoek van fig. 1 is *EE* ($x = 1/3$, $y = 1/3$).

Een rood voorwerp, dat van het erop vallende licht alleen de rode stralen weerkaatst en alle andere absorbeert, ziet er in lichtsoort *b* zwart of donkerbruin uit. In lichtsoort *a* heeft het zijn natuurlijke kleur, en dit geldt niet alleen voor rode doch voor willekeurige gekleurde voorwerpen. In lichtsoort *b* behouden alleen gele en blauwe voorwerpen ten naaste bij hun natuurlijke kleuren. De „kleurweergave" van *b* is dus zeer slecht, die van *a* daarentegen zeer goed of „natuurlijk".

Dank zij de reeds vermelde chromatische aanpassing van ons oog is er een betrekkelijk grote groep van lichtsoorten waarin, ondanks verschillen in de spectrale energiestroomverdeling en daaruit volgende verschillen in kleurcoördinaten van een zelfde voorwerp, nagenoeg elk voorwerp ons de indruk

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van zijn natuurlijke kleur geeft. Hiertoe behoren met name daglicht in al zijn schakeringen, gloeilampenlicht en, naar men wel mag aannemen, ook de reeks der tussengelegen temperatuurstralingen. Men betitelt de hele reeks van temperatuurstralers om deze reden (en omdat men ze ook in de natuur kan aantreffen) als „natuurlijke lichtbronnen".

Keren we nu terug tot de „TL" lampen. Uit het bovenstaande volgt, dat men met het vastleggen van de kleurpunten voor de drie standaard „TL" lampen nog geenszins de spectrale verdeling voor elk dezer lampen heeft vastgelegd. De vrijheid die men in dit opzicht nog bezit, en die dus veroorlooft om fosforen met zeer uiteenlopende spectrale verdeling als uitgangspunt voor het mengsel te kiezen, kan men voor twee verschillende doeleinden aanwenden: 1) men kan streven naar een zo hoog mogelijk lichtrendement van de lampen[6]; 2) men kan er zich op toeleggen de kleurweergave der lampen zo goed mogelijk te maken.

Bij de boven genoemde „standaard"lampen is het eerste doel vooropgesteld; men heeft voor de daglichtlamp een lichtrendement van 55 lumen per watt bereikt, voor de warmwitte lamp 67,5 lm/W, voor de witte lamp 61 lm/W. (Gloeilampen voor algemene verlichting hebben ten hoogste een rendement van 20 lm/W.) Daarnaast is in de laatste jaren intensief gewerkt aan „TL" lampen waaraan men vrijwel dezelfde kleurpunten wil geven maar waarbij de nadruk ligt op het andere doel, de kleurweergave. We zullen in hetgeen volgt laten zien, hoe men bij de verbetering van de kleurweergave te werk is gegaan en welke resultaten men bij deze zg. „de luxe" lampen heeft verkregen.

Om te beginnen is het van belang aan te tonen, in welke opzichten de kleurweergave van de standaard „TL" lampen te kort schiet. Men kan daartoe de spectrale verdeling dezer lampen vergelijken met die van de natuurlijke lichtbronnen, d.w.z. zwarte lichamen, met overeenkomstige kleurtemperatuur. Dit is gedaan in *fig. 3a-c* en eveneens in *tabel II*, gebruik makend van een verdeling van het spectrum in de door Bouma ingevoerde acht vakjes[7]. Verder moet men beschikken over een maat, om te beoordelen hoe erg de verschillen in de spectrale verdeling zich uiten in de kleurweergave. Een empirisch gevonden maat hiervoor is het „kleurweergavegetal" (figure of merit) van Harrison, dat uit de vakjesverdeling wordt berekend[8]) en dat in de tabel mede is opgegeven. Een meer directe, zij het zeer bewerkelijke, methode bestaat daarin dat men rechtstreeks de kleuren van een reeks

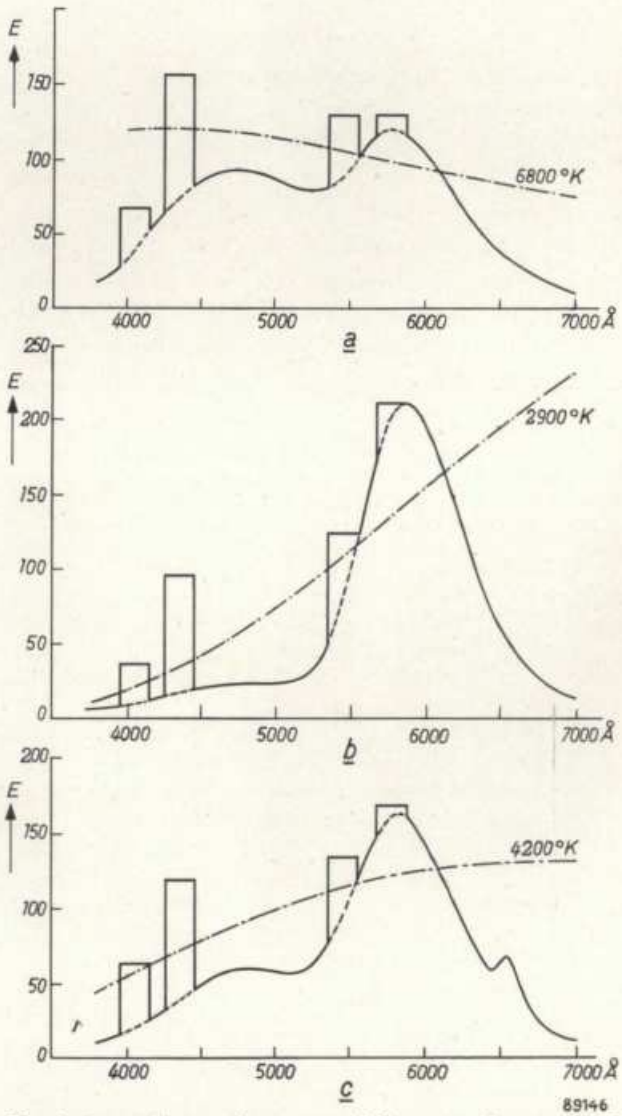


Fig. 3. Spectrale energiestroomverdeling van 40 watt „TL" lampen in standaarduitvoering (halofosfaatfosforen).
a) Lampkleur „Koel daglicht", kleurtemperatuur 6800 °K, 2200 lm.
b) „Warmwit", 2900 °K, 2700 lm.
c) „Wit", 4200 °K, 2450 lm.
De energieschaal voor de „TL" lampen is in alle drie figuren dezelfde. Gestippeld is in elke figuur de energiestroomverdeling van het overeenkomstige zwarte lichaam getekend, op een zodanige schaal dat de lichtstroom hiervan dezelfde is als van de desbetreffende lamp.

[6]) Het zal wel duidelijk zijn dat men een hoog lichtrendement kan bereiken indien in de spectrale verdeling der componenten zoveel mogelijk die golflengtegebieden worden bevoordeeld waarin het oog het gevoeligst is. Dit is juist bij de halofosfaatfosforen in hoge mate het geval.

[7]) P. J. Bouma, Philips techn. T. **2**, 1-7, 1937. Later is de indeling nog iets gewijzigd, zodat nu de in de tabel vermelde vakjes worden gebruikt. In 1948 heeft de C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage) aanbevolen deze methode van beoordeling van kleurweergave te gebruiken.

[8]) Noem l_i de relatieve lichtstroombijdrage in het i-de vakje van het spectrum van de lamp, z_i de analoge bijdrage voor de bijbehorende zwarte straler en E_i die voor de straler met spectrum van gelijke energie (fig. 2*a*). Harrison berekent nu de verhoudingen $l_3/l_6 \cdot l_4/l_6 \cdot l_5/l_6$ en $(l_7 + l_8)/l_6$ en deelt deze door de analoge verhoudingen E_3/E_6 enz. Het gemiddelde verschil van de berekende quotiënten en de analoge quotiënten voor de zwarte straler (dus z_3/z_6 : E_3/E_6, enz.) vermenigvuldigt Harrison met 100; door het resultaat af te trekken van 100, krijgt men het „kleurweergavegetal". Zie: W. Harrison, Light and Lighting, **44**, 148-153, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voorwerpen in de beide lichtsoorten vergelijkt, hetzij experimenteel, hetzij door berekening. Bij de berekening gaat men uit van de gegeven remissiekrommen (reflectiecoëfficiënt als functie van de golflengte) der testvoorwerpen, en bepaalt men hun kleurpunten bij verlichting met de twee te vergelijken lichtsoorten. Daar de twee te vergelijken lichtsoorten hetzelfde kleurpunt hebben (alleen de spectrale verdelingen verschillen), is de chromatische aanpassingstoestand van het oog dezelfde, zodat gelijkheid van kleurpunt ook gelijkheid van kleurindruk betekent. Judd [9]) heeft een kleurendriehoek geconstrueerd (de Uniform Chromaticity Scale of UCS-kleurendriehoek) waarin onder deze voorwaarde de afstand van twee kleurpunten bij benadering evenredig is met het kleurverschil dat men waarneemt. Een afstand 0,01 blijkt reeds duidelijk als kleurverschil waarneembaar te zijn.

Tabel II. Relatieve spectrale energiestroomverdeling van de standaard „TL" lampen en de zwarte stralers van daarmee overeenkomende temperaturen. Het spectrum is verdeeld in acht vakjes volgens Bouma. Voor elke lichtsoort is ook *H*, het kleurweergavegetal van Harrison, vermeld.

Vakje		Koel daglicht		Warmwit		Wit	
No.	Golflengte-gebied in Å	„TL"	6800 °K	„TL"	2900 °K	„TL"	4200 °K
I	3800-4200	0,017	0,037	0,006	0,006	0,010	0,017
II	4200-4400	0,44	0,27	0,28	0,062	0,33	0,14
III	4400-4600	0,66	0,86	0,15	0,26	0,33	0,50
IV	4600-5100	8,9	10,9	2,3	5,5	5,1	8,1
V	5100-5600	41,8	42,0	29,2	33,7	35,7	38,6
VI	5600-6100	41,5	33,5	57,3	42,5	49,6	39,1
VII	6100-6600	6,5	9,7	10,5	16,4	8,8	12,5
VIII	6600-7800	0,15	0,67	0,21	1,54	0,21	0,99
Kleurweergave-getal *H*		67	100	62	100	64	100

Bij de berekeningen voor 15 gekleurde voorwerpen, ten dele met verzadigde en ten dele met onverzadigde kleuren (één ervan kwam overeen met de huidkleur), werd voor de daglichtlamp, vergeleken met de zwarte straler van overeenkomstige temperatuur, een grootste kleurafwijking Δ_m van ca. 0,045 gevonden, voor de warmwitte lamp 0,065 en voor de witte lamp 0,05.

De ontwikkeling van de „de luxe" kleuren

Bij de pogingen tot verbetering van de kleurweergave werden als leidraad genomen de spectrale verdelingen der lampen, die we reeds in fig. 3 hebben weergegeven. De belangrijkste afwijkingen ten opzichte van de ideale verdeling (d.i. die van de overeenkomstige zwarte straler) zijn:

1) een tekort in het uiterste rode spectraalgebied (vakje VIII);
2) het optreden van twee bulten in het spectrum; nl. in het blauwviolet (kwiklijn 4358 Å) en het geelgroen (ca. 5800 Å). De twee bulten hangen met elkaar samen: ter compensatie van de onvermijdelijke sterke blauwviolette kwiklijn is bij het samenstellen der fosformengsels aangestuurd op een bult in de complementaire kleur, het geelgroen [10]).

Op welke wijze de genoemde afwijkingen de kleurweergave zullen benadelen, is kwalitatief heel goed te begrijpen. Door de afwijking (1) worden rode voorwerpen niet juist weergegeven: frisse rode kleuren krijgen een flets aanzien. De afwijking (2) blijkt vooral fnuikend te zijn voor de weergave van gele en oranje voorwerpen. Immers, de extra lichtstroombijdragen in het blauwviolet en geelgroen compenseren elkaar weliswaar op een voorwerp dat beide stralingen reflecteert, b.v. een wit laken. Gele en oranje voorwerpen echter absorberen het blauwviolette surplus, zodat het teveel aan geelgroen niet langer wordt geneutraliseerd. Het resultaat is de bekende groene verkleuring, die zulke voorwerpen bij verlichting met standaard fluorescentielampen ondergaan. Berucht is het geval van allerlei voedingsmiddelen, zoals boter, aardappelen, vruchten, die bij deze verlichting vaak een enigszins onsmakelijk uiterlijk krijgen. Op analoge wijze vertonen blauw gekleurde voorwerpen een verkleuring naar het violet, die echter gewoonlijk minder hinderlijk wordt gevonden.

De afwijking (1) is voor alle drie soorten „TL" lampen (daglicht, wit, warmwit) gelijkelijk van belang. De afwijking (2) eist bij de warmwitte en witte lampen meer aandacht dan bij de daglichtlamp. Dit is ook weer begrijpelijk. De bijdrage van het kwiklicht(en dus van de blauwviolette kwiklijn) tot de totale lichtstroom hangt vrijwel niet af van de lampkleur (zie bij verg. 1). Bij de warmwitte en witte lampen, die slechts relatief weinig blauwe straling leveren (fig. 3*b* en *c*), is dit weinige grotendeels in de kwiklijn opgehoopt; bij de daglichtlamp, waarvoor de bijdrage van het continue spectrum in het blauw veel groter is (fig. 3*a*), speelt de kwiklijnbijdrage een minder belangrijke rol.

We bespreken nu achtereenvolgens de remedies die men voor beide afwijkingen heeft trachten toe te passen.

[9]) D. B. Judd, J. Opt. Soc. Amer. **25**, 24-36, 1935.

[10]) De complementaire kleur van 4358 Å moet voor elke „TL" lamp afzonderlijk worden bepaald door een lijn uit het punt van die golflengte te trekken door het kleurpunt van de lamp naar de tegenovergelegen rand van de kleurendriehoek. Bij alle drie hier besproken lampkleuren komt men dan in het geelgroen terecht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het toevoegen van rood

Uitgaande van de met halofosfaten gerealiseerde standaardlampen heeft men het tekort in het rood trachten op te heffen door een nieuwe, rood fluorescerende, fosfor aan het fosforenmengsel toe te voegen. Een geschikte fosfor bleek te zijn magnesiumarsenaat [4]), met een sterke emissieband in het diepe rood (maximum bij 6560 Å). Door toevoeging van deze fosfor aan het mengsel verschuift in eerste instantie het kleurpunt van de lamp naar rechts en naar beneden. Om het juiste kleurpunt terug te krijgen, moest men de blauwe emissieband van het halofosfaat sterker maken (verschuiving naar links) en tevens, voor de nodige terugverschuiving naar boven, een groene fosfor toevoegen, b.v. willemiet.

Beschouwen we gemakshalve de twee banden van het halofosfaat (oranje en blauw) als afkomstig van afzonderlijke fosforen, dan hebben we nu te maken met een mengsel van vier componenten. Kennelijk zijn de mengverhoudingen dan niet ondubbelzinnig door het voorgeschreven kleurpunt bepaald: men kan één der mengverhoudingen willekeurig kiezen. We hebben hiervoor genomen de verhouding tussen de twee meest rode fosforen. Noemen we deze verhouding a, dan kunnen we de volgende vraag stellen: voor welke waarde van a wijkt de kleurweergave van ons mengsel zo weinig mogelijk af van die van de met de lamp overeenkomende zwarte straler?

Om deze vraag te beantwoorden, hebben wij weer van de 15 reeds genoemde gekleurde voorwerpen de kleurpunten in Judd's UCS-driehoek berekend, voor een reeks mengsels met verschillende waarden van de parameter a, nl. 0-0,2-0,4-0,5-0,6-0,8-1. Voor vijf van de voorwerpen zijn in *fig. 4* de berekende kleurpunten L_p aangegeven voor $a = 0$, $a = 0{,}5$ en $a = 1$, en wel voor de lampkleur „Wit", die overeenkomt met zwarte straling van 4200 °K. De kleurpunten N_p der voorwerpen bij verlichting met deze zwarte straler zijn eveneens getekend. De afstand Δ_p van L_p tot N_p is voor de genoemde waarden van a berekend en in *fig. 5* als functie van a uitgezet [11]), voor alle 15 voorwerpen ($p = 1$ tot 15).

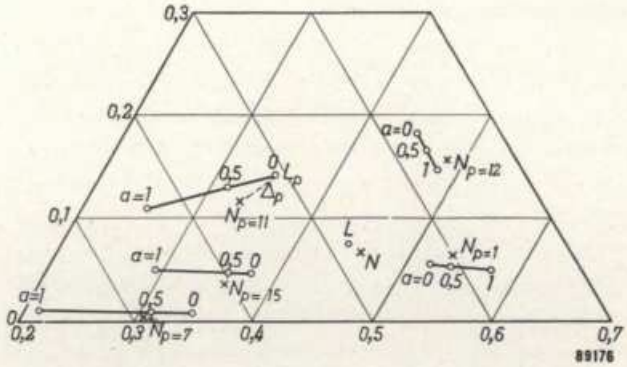


Fig. 4. Gedeelte van de Uniform Chromaticity Scale kleurendriehoek volgens Judd [9]). Deze kleurendriehoek — die door een lineaire transformatie uit die van fig. 1 ontstaat (zie b.v. het in [2]) aangehaalde boek van Bouma) — heeft de eigenschap dat gelijke afstanden beantwoorden aan gelijke verschillen in kleurindruk (gelijk aantal onderscheidbare kleurstapjes).
De punten N_p met p = 1-7-11-12-15 zijn de kleurpunten van vijf testvoorwerpen (gekleurde voorwerpen p, zie bij fig. 5), verlicht met een zwarte straler van 4200 °K. Voor elk voorwerp zijn tevens de kleurpunten L_p getekend die het krijgt bij verlichting met een witte „TL" lamp met aan de fosfor toegevoegd magnesiumarsenaat, bij verschillende waarden van de mengverhouding a der twee rode fosforen; de kleurpunten verkregen bij variërende a liggen telkens op een recht lijntje. N is het kleurpunt van de genoemde zwarte straler, L dat van de „TL" lamp.

Hoewel de minima van Δ_p niet voor alle gekleurde voorwerpen p bij dezelfde waarde van a optreden, blijkt uit fig. 5 wel, dat er voor de lampkleur Wit een gebied in de buurt van $a = 0{,}5$ is waar het overgrote deel der kleurverschillen Δ_p duidelijk kleiner is

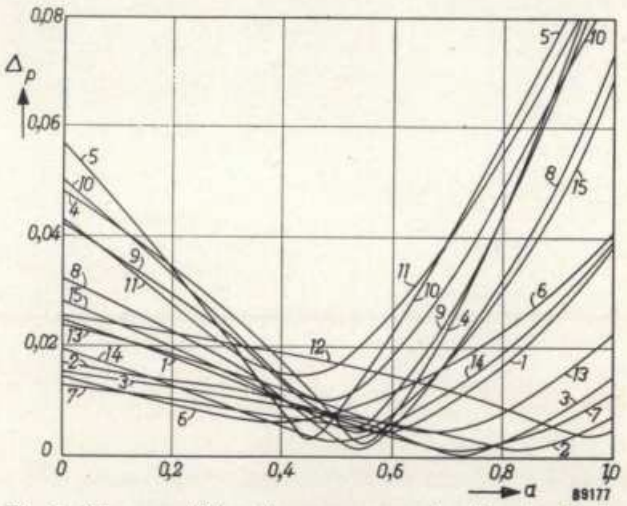


Fig. 5. Kleurverschillen Δ_p, aangegeven als afstanden in de UCS-kleurendriehoek, voor gekleurde voorwerpen met nummers $p = 1$ tot 15, bij verlichting met een zwarte straler van 4200 °K dan wel met een witte „TL" lamp met mengparameter a. Bij een bepaalde waarde van a, in casu $a \approx 0{,}5$, worden de kleurverschillen het kleinst. De hierbij resterende grootste kleurafwijking, Δ_m — in casu $\Delta_m \approx 0{,}017$ — karakteriseert de beste kleurweergave die door toevoeging van magnesiumarsenaat bereikbaar is.
De voorwerpen $p = 1$ tot 6 zijn de pigmenten groen, blauw, geel, oranje, rood en purper waarvan de spectrale reflectiekrommen zijn gegeven in Hardy, Handbook of colorimetry (M.I.T., Cambridge Mass. 1936); $p = 7$ tot 15 zijn de kleuren pa 04, pa 17, pa 25, pa 33, nc 42, nc 54, nc 71, pa 88 en ia 21 uit Ostwald's Kleurenatlas.

[11]) Menging van de twee rode fosforen, met kleurcoördinaten $X_1Y_1Z_1$ en $X_2Y_2Z_2$, in de verhouding a betekent dat we de twee fosforen vervangen door één fosfor met coördinaten $aX_1 + (1-a)X_2$, $aY_1 + (1-a)Y_2$, $aZ_1 + (1-a)Z_2$. De hiervoor berekende kleur L_p van een voorwerp kunnen we echter altijd weer beschouwen als mengsel van de analoge kleuren berekend voor $a = 0$ en voor $a = 1$. Vandaar dat elk kleurpunt L_p bij variatie van a verschuift langs de rechte lijn die de twee extreme liggingen van L_p verbindt. Dit maakte het construeren van fig. 5, met behulp van interpolatie, relatief gemakkelijk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan voor grotere of kleinere waarden van a. De grootste resterende kleurafwijking bij $a = 0{,}5$ is $\Delta_m = 0{,}017$. In deze buurt zal men dus a kiezen, voor de rest volgt de vereiste samenstelling van het fosforenmengsel dan uit het gewenste kleurpunt, dat men gelijk kiest aan dat voor de witte standaard „TL" lamp.

Bij de nadere keuze van a moet men rekening houden met de wenselijkheid van een hoog lichtrendement, dat hier weliswaar naar het tweede plan verwezen is maar dat men toch niet geheel uit het oog mag verliezen: een betrekkelijk kleine reductie van Δ_m is niet gewettigd indien daarvoor een groot offer in lichtrendement nodig zou zijn. Zo kwam men tot een „Wit de luxe" lamp met de genoemde fosforen en $a = 0{,}34$. De grootste hierbij optredende kleurafwijking in de UCS-driehoek is 0,023, het kleurweergavegetal van Harrison is 76.

Er zij opgemerkt dat ook bij de standaardlamp met kleur Wit reeds een weinig magnesiumarsenaat wordt toegevoegd ($a \approx 0{,}1$). Hierdoor ontstaat de kleine piek in het rood in de spectrale verdeling van deze lamp, zie fig. 3c.

Voor de lampkleur Warmwit kan men op analoge wijze de kleurafwijking Δ_m reduceren tot 0,02 bij een waarde $a = 0{,}5$. Bij de lampkleur Daglicht is zelfs een reductie van de kleurafwijking tot 0,0075 bereikbaar, bij $a \approx 0{,}5$, maar daarbij deed zich weer het gezichtspunt van het lichtrendement sterk gelden, zodat men ook hier niet verder heeft willen gaan dan tot $a \approx 0{,}30$, met $\Delta_m \approx 0{,}025$ (bij een iets ander kleurpunt dan voor de standaardlamp, nl. kleurtemperatuur 6500 °K). De waarden Δ_m en de bijbehorende kleurweergavegetallen zijn in *tabel III* samengevat.

Tabel III. Maximale resterende kleurafwijking Δ_m en kleurweergavegetal H voor de drie soorten „de luxe" lampen die door verbetering van het spectrum in het rood met behulp van magnesiumarsenaat worden verkregen; a = verhouding der twee rode fosforen.

	a	verbeterd		standaard	
		Δ_m	H	Δ_m	H
Daglicht	0,3	0,025	75	0,055	67
Warmwit	0,5	0,020	84	0,065	62
Wit	0,34	0,023	76	0,05	64

De verbeterde warmwitte lamp is nooit in deze vorm gerealiseerd; bij de berekening is uitgegaan van een vroeger vastgestelde kleurtemperatuur 3100 °K, kleurpunt $x = 0{,}427$; $y = 0{,}396$. Het lichtrendement bij $a = 0{,}5$ zou ongewenst laag zijn. De Daglicht de luxe lamp heeft een kleurpunt corresponderend met kleurtemperatuur 6500 °K.

Men ziet dat de toevoeging van de rode magnesiumarsenaatfosfor — in ongeveer de optimale verhouding — bij alle drie lamptypen tot een zeer merkbare verbetering van de kleurweergave leidt. Toch voldoen de verkregen lampen nog niet aan de hoogste eisen die men in dit opzicht kan stellen. Men kan trachten deze beter te benaderen door nu ook nog maatregelen te nemen ter opheffing van de tweede bovengenoemde afwijking — het teveel in het blauwviolet en in het geelgroen.

De absorptie van de blauwviolette kwiklijn

Het voor de hand liggende middel dat men daartoe kan toepassen, is een voldoend sterke absorptie van de blauwviolette kwiklijn in de lamp zelf. Hiermee dient gepaard te gaan een zodanige wijziging van het fosformengsel dat de bult in het geelgroene spectraalgebied, die alleen noodzakelijk was om de verschuivende invloed van de kwiklijn op het kleurpunt het hoofd te bieden, niet optreedt. De gevreesde verkleuring van gele en oranje voorwerpen zal zich dan niet meer voordoen.

Te Eindhoven werd reeds omtrent 1938-39 met een absorptie van de kwiklijn geëxperimenteerd. G. Zecher vervaardigde toen proeflampen met een wand van uraanglas, dat in het gewenste spectrale gebied absorbeert. De bruikbaarheid van het principe werd hiermee duidelijk aangetoond, maar de uitvoering strandde op de onmogelijkheid de buizen met nauwkeurig bepaalde wanddikte te maken, ter dosering van de absorptie. Experimenten met buiten op de lamp aangebrachte absorberende laklagen, die geschikte organische kleurstoffen bevatten, faalden door dezelfde moeilijkheid en door de vrijwel onvermijdelijke plaatselijke verschillen in de laklaag. Als aantrekkelijkste oplossing bleef over het gebruik van een anorganisch pigment. Dit behoeft niet als lak te worden verwerkt, maar kan tegen de binnenzijde van de buiswand worden aangebracht, daar zulke pigmenten de warmtebehandeling tijdens de fabricage van de lampen zonder ontleding kunnen doorstaan. Hier bleek het echter weer moeilijk, pigmenten met de juiste spectrale absorptiekromme te vinden.

In het onderzoek kwam een gunstige wending doordat men constateerde dat het reeds genoemde magnesiumarsenaat, dat ter aanvulling van de fluorescentie in het rood te hulp was genomen, niet alleen door de ultraviolette kwikstraling maar ook door de blauwviolette spectraallijn kon worden geëxciteerd. Dit betekende dat de ongewenste straling werd geabsorbeerd en er tegelijk nuttige straling voor werd verkregen. Weliswaar absorbeert de normaal bereide magnesiumarsenaatfosfor de blauwviolette lijn slechts heel zwak; door een speciale bereidingswijze echter kan men deze absorptie zodanig versterken dat een laag van ongeveer dezelfde dikte als de normale fluorescerende laag

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

(enige milligrammen per cm²) voldoende is om de gewenste absorptie te realiseren (*fig. 6*). De toepassing van twee lagen van de fosfor, een absorberende en een niet-absorberende, laat de mogelijk-

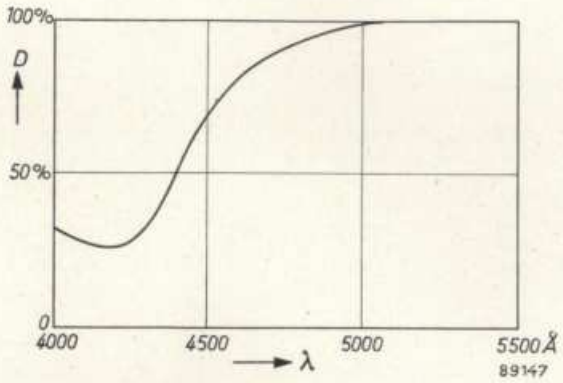


Fig. 6. Spectrale absorptiekromme van magnesiumarsenaat. Uitgezet is de doorlating D als functie van de golflengte λ. De in de tekst genoemde absorptiefactor is $\delta = |\log D|$. Deze factor is voor niet-troebele stoffen evenredig met de laagdikte. Ook voor magnesiumarsenaat geldt dit nog bij benadering, hoewel hier de absorptie gepaard gaat met een sterke verstrooiing en met reflectie.

heid open, de mate van absorptie van het blauwviolet en de relatieve bijdrage in het rood tot op zekere hoogte nog onafhankelijk van elkaar te regelen.

Een vraag was nu, of steeds verdergaande absorptie tot steeds betere kleurweergave zou leiden, of dat er met betrekking tot de kleurweergave sprake zou zijn van een optimum in de absorptie. Door berekeningen kon worden aangetoond dat het laatste het geval is. De berekeningen werden analoog opgezet als de hierboven beschrevene voor de toevoeging van rood; daar zij tamelijk tijdrovend zijn, hebben wij ons beperkt tot één fosforenmengsel, het reeds genoemde mengsel van halofosfaat, magnesiumarsenaat en willemiet. Wij geven er hier een korte schets van.

Eerst wordt een waarde van de absorptie gekozen. Deze wordt gekenmerkt door de waarde $\delta = |\log D|$, waarin D de doorlatingsfactor van de laag voor de kwiklijn $\lambda = 4358$ Å aanduidt. Voor de gekozen waarde van δ wordt de doorlatingskromme van de absorberende laag (doorlatingsfactor als functie van golflengte) afgeleid uit fig. 6. Daarna worden de ordinaten van de emissiekrommen der gebruikte vier fosforen (zie boven) voor elke golflengte met de doorlatingsfactor vermenigvuldigd, zodat vier nieuwe, effectieve emissiekrommen worden gevonden. Uitgaande van gekozen waarden van de mengverhouding a der twee meest rode fosforen worden nu, evenals vroeger (vgl. fig. 4 en 5), de kleurafwijkingen Δ_p van de 15 testvoorwerpen berekend als functie van a. Men kan dan vaststellen welke a het gunstigst is en hoe groot de daarbij behorende maximale resterende kleurafwijking Δ_m is.

Deze bepaling van de beste mogelijke kleurweergave werd herhaald met verschillende waarden van δ, en dit geheel van berekeningen werd uitgevoerd voor mengsels van de („effectieve") fosforen beantwoordend aan de drie lampkleuren Daglicht, Wit en Warmwit. Het omvangrijke verzamelde getallenmateriaal werd ten slotte verwerkt tot de drie grafieken *fig. 7a, b, c*. Hierin is a als abscis en δ als ordinaat uitgezet, en er zijn lijnen met constante waarde van de maximale kleurafwijking Δ_m getekend.

Voor de interpretatie der grafieken beschouwe men eerst telkens de lijn $\delta = 0$ (abscisas), die aan het reeds eerder behandelde geval zonder absorptie beantwoordt. In fig. 7*a*, die slaat op de daglichtlamp, ziet men dan dat voor $a = 0{,}35$ een $\Delta_m = 0{,}02$ resulteert, voor $a = 0{,}49$ een $\Delta_m = 0{,}0075$, terwijl bij nog grotere a de Δ_m weer groter wordt,

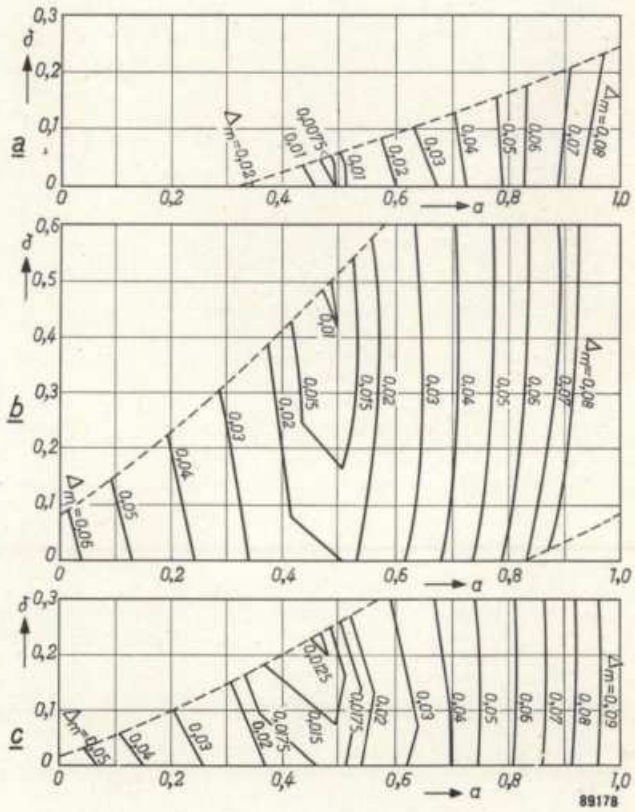


Fig. 7. Grootste resterende kleurafwijking Δ_m in de UCS-driehoek, berekend voor de lampkleuren *a*) Daglicht, *b*) Warmwit, *c*) Wit, met de fosforen halofosfaat, magnesiumarsenaat en willemiet, waarbij de mengparameter a werd gevarieerd en bovendien een gedeeltelijk absorberende laag van magnesiumarsenaat, absorptiefactor δ bij $\lambda = 4358$ Å, was aangebracht ter verzwakking van de blauwviolette kwiklijn.

Getekend zijn lijnen van constante Δ_m in het a,δ-vlak. Buiten de gestreepte grenslijnen komt men tot negatieve lichtbijdragen van één der fosforen, zodat de voorgeschreven kleurpunten met die a-δ-combinaties niet realiseerbaar zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

b.v. $\Delta_m = 0{,}02$ voor $a = 0{,}6$. Neemt men vervolgens gevallen $\delta > 0$ (mèt absorptie), dan ziet men in fig. 7*a* dat bij $\delta = 0{,}05$ de afwijking Δ_m eveneens tot 0,0075 gereduceerd wordt, thans bij $a = 0{,}47$, maar dat Δ_m niet nog kleinere waarden bereikt. Dit is geheel in overeenstemming met de verwachting. Er is immers reeds op gewezen dat voor de daglichtlamp geen grote invloed van de tweede afwijking te verwachten was. Men kan derhalve voor deze lamp, door opheffing van de afwijking met behulp van absorptie, ook geen noemenswaardige verbetering bereiken.

Geheel anders is de situatie voor de lampkleur Warmwit, zie fig. 7*b*. Zonder absorptie, $\delta = 0$, kan men Δ_m op zijn best reduceren tot 0,02, bij een waarde $a \approx 0{,}5$. Met absorptie daarentegen komt men in het gunstigste geval tot $\Delta_m = 0{,}01$, d.i. juist de waarneembaarheidsgrens; hiervoor is $\delta = 0{,}4$ tot 0,5 en wederom $a \approx 0{,}5$ nodig. Aangezien dit voor de praktijk wel een der belangrijkste uitkomsten van het gehele onderzoek is, hebben we van een aantal punten van de grafiek fig. 7*b* de numerieke waarden in *tabel IV* samengebracht en hierbij tevens voor elk fosforenmengsel met gegeven δ en a het kleurweergavegetal volgens Harrison vermeld. Men ziet dat men getallen H tot meer dan 90 kan bereiken [12]).

[12]) Het feit dat men hier voor een groot aantal lichtsoorten zowel het kleurweergavegetal van Harrison als de maximale resterende kleurafwijking Δ_m kent, maakt het mogelijk, bij deze gelegenheid eens „den Spiess umzukehren" en de bruikbaarheid van het getal van Harrison te toetsen. In *fig. 8* is daartoe dit getal als functie van Δ_m uitgezet. Hoewel een vrij grote spreiding te constateren valt, is er toch een duidelijke correlatie tussen de beide grootheden (getekende rechte lijn). We zien hierin een rechtvaardiging om het getal van Harrison althans in eerste instantie ter beoordeling van de kleurweergave van een fluorescentielamp te bezigen.

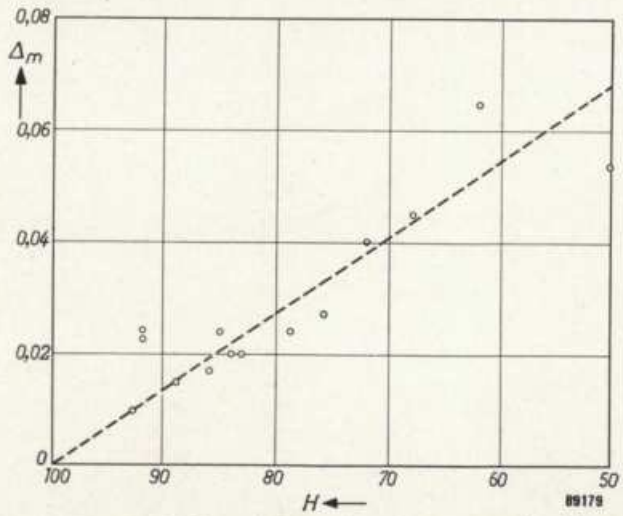


Fig. 8. Maximale kleurafwijking Δ_m uitgezet tegen het kleurweergavegetal H van Harrison, beide berekend voor een aantal fosformengsels met lampkleur Warmwit, zie tabel IV.

Ten slotte enkele woorden over de lampkleur Wit, waarvoor fig. 7*c* geldt. Voor $\delta = 0$ vindt men (zie ook fig. 5) $\Delta_m = 0{,}017$ als kleinste bereikbare waarde, bij $a = 0{,}5$. De optimale absorptie blijkt te zijn $\delta = 0{,}23$, waarbij men met $a = 0{,}46$ de maximale kleurafwijking reduceert tot 0,012.

Tabel IV. Berekende maximale kleurafwijking Δ_m en kleurweergavegetal H voor warmwitte „TL" lampen met halofosfaat, magnesiumarsenaat en willemiet, bij verschillende mengparameter a voor de rode lichtbijdragen en verschillende mate van absorptie δ van de blauwviolette kwiklijn. (De open plaatsen duiden op combinaties a,δ waarbij voor het kleurpunt warmwit één der samenstellende fosforen een negatieve bijdrage zou moeten geven, zodat het kleurpunt met deze fosforen niet realiseerbaar is.)

δ	0		0,2		0,4		0,6	
a	Δ_m	H	Δ_m	H	Δ_m	H	Δ_m	H
0	0,065	62	—	—	—	—	—	—
0,2	0,045	68	0,040	72	—	—	—	—
0,4	0,024	79	0,020	83	0,017	86	—	—
0,5	0,020	84	0,015	89	0,010	93	—	—
0,6	0,027	76	0,024	85	0,023	92	0,025	92
0,8	0,063	33	0,057	45	0,054	50	0,054	50

Uitvoering der „TL" de luxe lampen; nieuwe fosforen

Samenvattend en met enige aanvullingen kunnen we over de thans vervaardigde „TL" de luxe lampen het volgende zeggen.

Daglicht de luxe

In de tegenwoordig vervaardigde Daglicht de luxe lamp maakt men gebruik van halofosfaat met magnesiumarsenaat ($a = 0{,}3$) en willemiet, maar zonder absorptie. Hij heeft de kleurtemperatuur 6500 °K en de in *fig. 9a* getekende spectrale energiestroomverdeling. De maximale kleurafwijking is 0,025, het lichtrendement 50 lm/W.

Hoewel de lamp in de praktijk goed voldoet, zou een nog betere kleurweergave, als men die kan bereiken zonder al te zeer te kort te doen aan het lichtrendement, zeker gewenst zijn.

Men kan in dit geval, aangezien absorptie niet veel baat, naar verbetering streven door de toepassing van andere fosforen. Met name ligt het voor de hand te trachten het vrij diepe „dal" te vermijden dat nog bestaat tussen het rode maximum van de halofosfaten (5800 Å) en dat van het magnesiumarsenaat (6600 Å). Een in dit opzicht goede combinatie van andere fosforen, met cadmiumboraat als voornaamste bestanddeel, bleek in de praktijk niet bruikbaar doordat de lichtopbrengst van het boraat tijdens het branden te sterk terugliep. Een zeer

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

goede kleurweergave, tegelijk met een goed lichtrendement, vertoonden enkele proeflampen, die voorzien waren van een mengsel van een nieuwe rode silicaatfosfor met blauw halofosfaat en magnesiumarsenaat; hiermee kon, bij een lichtrendement van 43 lm/W, de maximale kleurafwijking in de UCS-driehoek worden teruggebracht tot 0,005, en men verkreeg een kleurweergavegetal van 93. Deze proeflampen hadden weliswaar een kleurpunt dat iets te sterk van het gewenste afweek (het lag beneden de lijn der zwarte lichamen). De ontwikkeling is er nu op gericht, aan dit bezwaar tegemoet te komen.

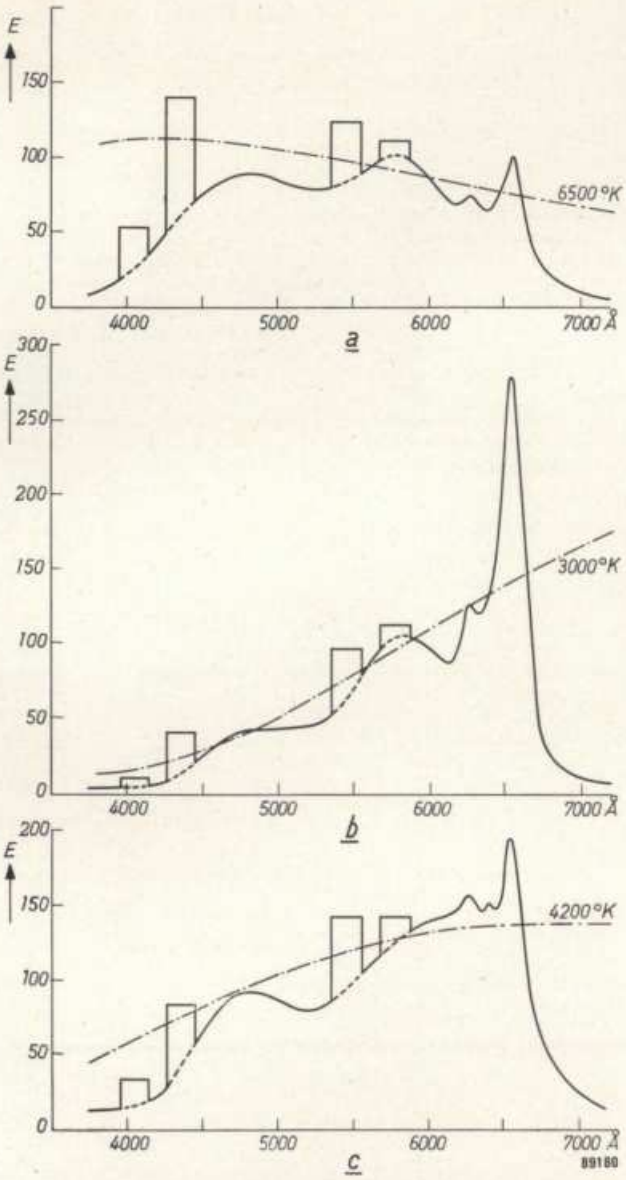


Fig. 9. Spectrale energiestroomverdeling van „TL" de luxe lampen, met goede kleurweergave, die thans worden vervaardigd.
a) Daglicht de luxe, met halofosfaat, magnesiumarsenaat en willemiet. Kleurtemperatuur 6500 °K. $H = 75$; lichtrendement 50 lm/W.
b) Warmwit de luxe, met dezelfde fosforen en een absorberende laag magnesiumarsenaat ($\delta = 0{,}5$ voor $\lambda = 4358$ Å). Kleurtemperatuur 2900 °K. $H = 92$; lichtrendement 47 lm/W.
c) Wit de luxe, met calciumstrontiumsilicaat, blauw halofosfaat en magnesiumarsenaat, en een absorberende laag magnesiumarsenaat ($\delta = 0{,}3$). Kleurtemperatuur ca. 4000 °K. $H = 95$; lichtrendement 44 lm/W.
In alle drie gevallen is, evenals in fig. 3*a-c*, de energiestroomverdeling van de overeenkomstige zwarte straler gestippeld aangegeven.

Warmwit de luxe

Voor de Warmwit de luxe lamp wordt de combinatie van halofosfaat en magnesiumarsenaat toegepast, verbeterd door een laag magnesiumarsenaat die tussen de eigenlijke fosforlaag en de buiswand is aangebracht en die de blauwviolette kwiklijn verzwakt tot ca. $^1/_3$ ($\delta = 0{,}5$). De spectrale verdeling van deze lamp ziet men in fig. 9*b*, de kleurtemperatuur is 2900 °K, de maximale kleurafwijking 0,01, het kleurweergavegetal 92, het lichtrendement 47 lm/W. In *tabel V* is ook nog de vakjesverdeling van het spectrum opgegeven, met ter vergelijking de verdeling voor het zwarte lichaam bij 2900 °K en voor een experimentele Warmwit de luxe lamp zonder absorptie. Men ziet dat door de absorptie de aanpassing in de blauwgroene vakjes (III en IV) veel beter is geworden. Tevens ziet men dat het mogelijk is geweest het roodgehalte (vakjes VII en VIII) te verhogen zonder dat — ter handhaving van het kleurpunt — een toeneming in het groen (V en VI) nodig was.

Tabel V. Vakjesverdeling voor de met halofosfaat, magnesiumarsenaat en willemiet verkregen „TL" lampen Wit de luxe en Warmwit de luxe, de laatste mèt en zonder absorptie van de blauwviolette kwiklijn. Ter vergelijking is de verdeling voor de zwarte lichamen met de overeenkomstige kleurtemperaturen gegeven.

Vakjes		Wit de luxe met absorptie	4200 °K	Warmwit de luxe zonder absorptie	2900 °K	Warmwit de luxe met absorptie
No.	Golflengte in Å					
I	3800-4200	0,005	0,017	0,006	0,006	0,003
II	4200-4400	0,21	0,14	0,31	0,062	0,16
III	4400-4600	0,43	0,50	0,08	0,26	0,22
IV	4600-5100	8,1	8,1	2,0	5,5	4,5
V	5100-5600	37,6	38,6	36,1	33,7	34,1
VI	5600-6100	39,5	39,1	45,5	42,5	44,7
VII	6100-6600	13,7	12,5	15,6	16,4	15,5
VIII	6600-7800	0,57	0,99	0,48	1,54	0,87
Kleurweergavegetal *H*		95	100	81	100	92

In de praktijk is gebleken dat deze lamp ten volle aan de verwachtingen voldoet, zowel voor restaurants, warenhuizen en derg. als ook voor huiskamerverlichting.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wit de luxe

Met het mengsel halofosfaat-magnesiumarsenaat kon een vrij goede Wit de luxe lamp worden verkregen, vooral met toepassing van absorptie (tot $\delta = 0{,}23$). Bijzonder goede resultaten echter konden worden geboekt door het voor de daglichtkleur reeds genoemde fosformengsel te gebruiken en hiermee tevens een laag absorberend magnesiumarsenaat te combineren, die de blauwviolette kwiklijn tot ca. $^1/_2$ verzwakt. De hiermee vervaardigde lamp (kleurtemperatuur ca. 4000 °K), waarvan de spectrale verdeling in fig. 9*c* en de vakjesverdeling in tabel V zijn weergegeven, blijkt een nog betere kleurweergave te hebben dan de nieuwe Warmwit de luxe lampen. Het kleurweergavegetal is 95, het lichtrendement 44 lm/W.

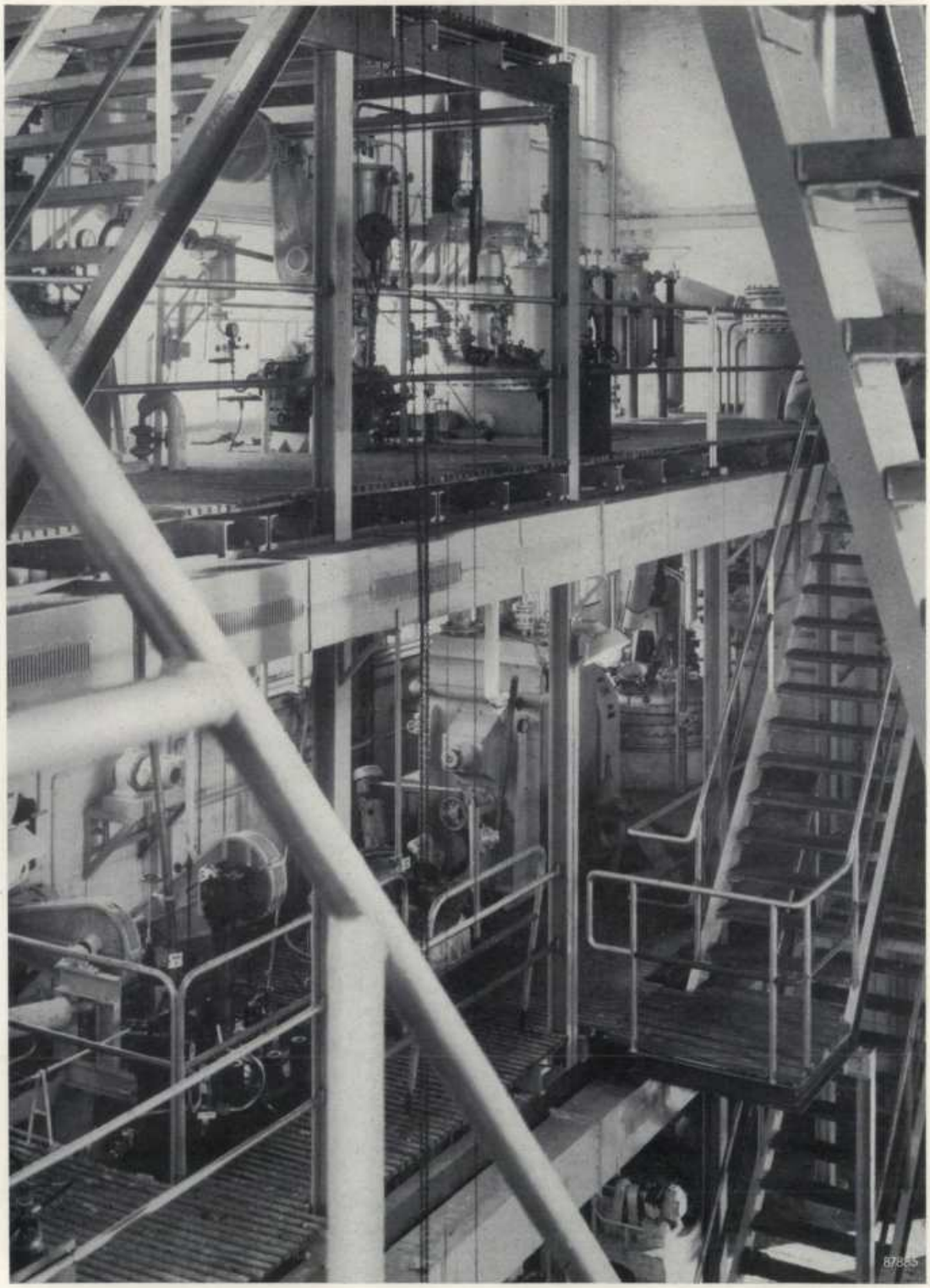
De in het bovenstaande gegeven schets van de ontwikkeling dekt niet helemaal de historie. Verschillende zijsporen, die men een tijdlang in het laboratorium (een enkele keer ook in de fabricage) heeft gevolgd, tot men inzag dat zij doodliepen, zijn hier verzwegen. Dit betoog zal daardoor misschien te sterk de indruk hebben gegeven dat men bij de ontwikkeling uitsluitend op het kompas der berekeningen heeft kunnen varen, en een kleine rechtzetting is dan ook op zijn plaats. Het is zeker een grote vooruitgang geweest, ons door Bouma en andere werkers op dit gebied gebracht, dat het begrip „kleur" met zijn vele fysiologische complicaties voor berekeningen toegankelijk is geworden, maar het einddoel van de „goede" kleurweergave van een verlichting blijft de subjectieve goedkeuring door de gebruiker. Een breed opgezette beproeving in de praktijk is dan ook voor elk nieuw ontwikkeld lamptype het experimentum crucis vóór men tot de fabricage ervan overgaat.

Samenvatting. Door menging van verschillende fosforen in een buisvormige fluorescentielamp („TL" lamp) kan men het kleurpunt van de lamp in de kleurendriehoek binnen wijde grenzen variëren. Men heeft drie kleurpunten gekozen, voor lampen die met gemiddeld daglicht overeenkomen (kleur Daglicht, kleurtemperatuur 6800 °K), of met gloeilampenlicht (kleur Warmwit, 2900 °K), of daar tussenin liggen (kleur Wit, 4200 °K). Behalve de drie hieraan beantwoordende standaarduitvoeringen der „TL" lampen, die met halofosfaatfosforen worden gemaakt en die optimale lichtrendementen bezitten, heeft men ook uitvoeringen ontwikkeld, de zg. „de luxe" lampen (met ongeveer dezelfde kleurtemperaturen), die een wat minder hoog lichtrendement maar een zo natuurlijk mogelijke kleurweergave hebben. De middelen, hiertoe toegepast, bestaan in een toevoeging van rood aan het spectrum en een verzwakking van de blauwviolette kwiklijn (gepaard gaande met een vermindering van de lichtbijdrage in het geelgroen). Beide effecten kan men verkrijgen met behulp van een magnesiumarsenaatfosfor, die op twee manieren wordt bereid. De gang van de berekeningen voor het bepalen van de gunstigste mengverhoudingen en absorptiesterkten wordt hier geschetst. Voor de kleuren Warmwit de luxe en Wit de luxe is men op deze wijze tot zeer goede resultaten gekomen. Voor de kleur Daglicht de luxe maakt het gezichtspunt dat het lichtrendement door de kleurweergaveverbetering niet te veel mag lijden, een oplossing met een ander fosformengsel verkieslijk; er wordt thans nog aan gewerkt, met dit mengsel het gewenste kleurpunt te realiseren. Hetzelfde mengsel, gecombineerd met een absorptie door magnesiumarsenaat, levert ook fraaie resultaten in een nieuwe Wit de luxe „TL" lamp.

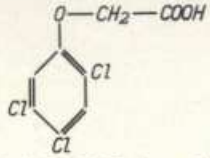
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

KIJKJE IN DE FABRIEK VAN DE N.V. PHILIPS-ROXANE TE AMSTERDAM



De N.V. Philips-Roxane brengt een herbicide in de handel, dat in de landbouw wordt gebruikt ter bestrijding van onkruid. Deze stof is het 2,4,5-trichloorazijnzuur (zie nevenstaande structuurformule), bekend als 2,4,5-T [1]). Het wordt in de fabriek van genoemde N.V. te Amsterdam als volgt gefabriceerd. In de grote autoclaaf links beneden op de foto wordt hexachloorhexaan omgezet in een dichloorfenol. Als resultaat van twee volgende bewerkingen: omzetten van het dichloorfenol met monochloorazijnzuur tot een fenoxy-azijnzuur, en uitwisselen van één bepaald H-atoom van de benzeenkern tegen een Cl-atoom door een behandeling met chloor, ontstaat het 2,4,5-T. Dit wordt doorgaans met daartoe geschikte alcoholen veresterd (apparatuur zichtbaar links van de trap) en in deze vorm in de landbouw toegepast.



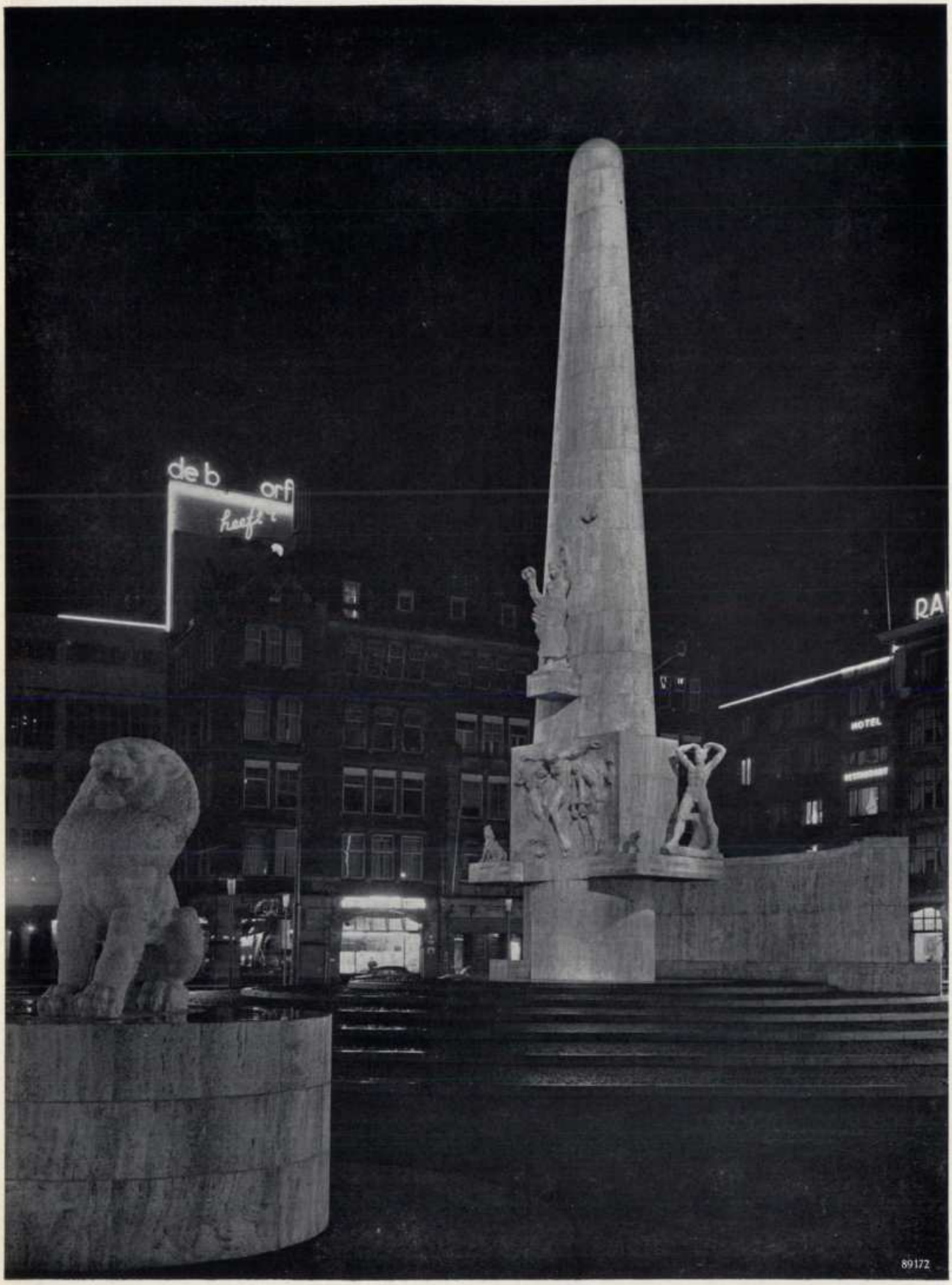
[1]) Philips techn. T. **16**, 357, 1954; **17**, 267, 1955 (no. 9).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

VERLICHTING VAN HET NATIONAAL MONUMENT TE AMSTERDAM

628.974.6.064:725.94:621.327.534.2

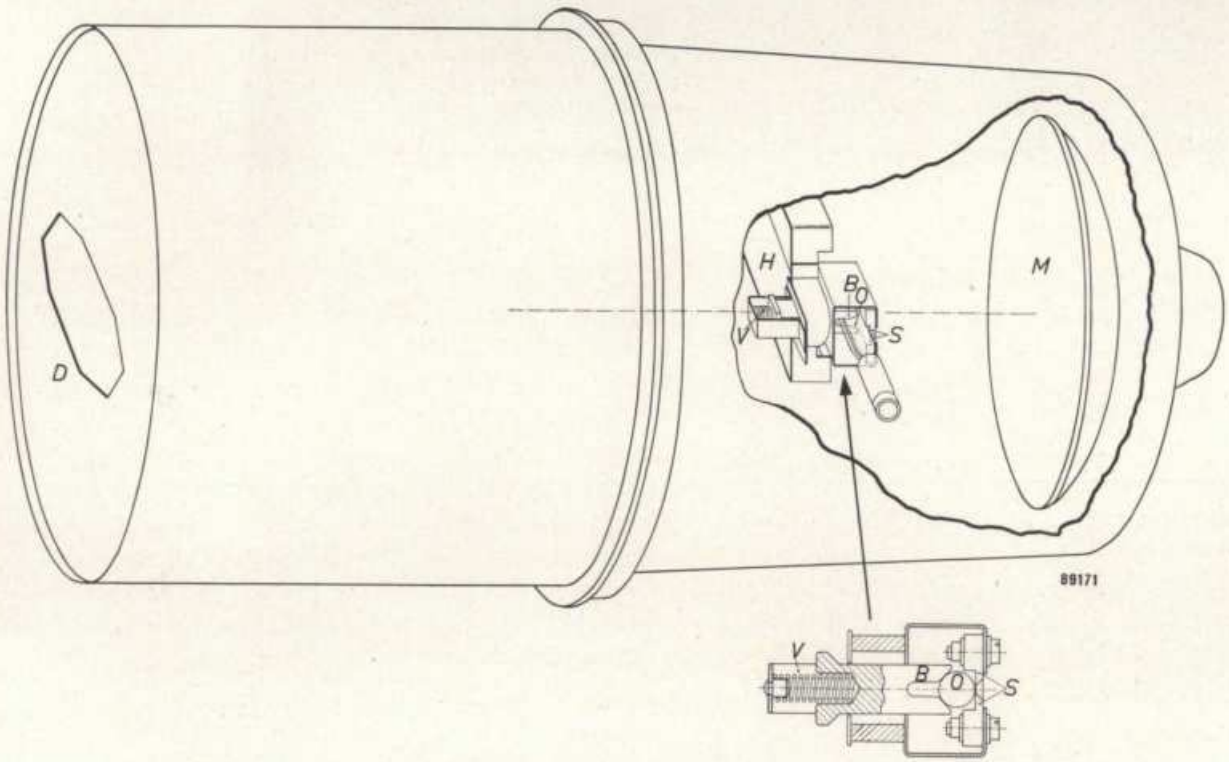


Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De verlichting van de 22 m hoge zuil met beeldhouwwerk en de als achtergrond dienende lage muur wordt bewerkstelligd met 30 zoeklichten, die op de daken der omringende gebouwen van de Dam zijn geplaatst. Deze opstelling der lichtbronnen beantwoordt aan de door de makers, de beeldhouwer John Rädecker en de architect Dr. J. J. P. Oud, geuite wens dat het karakter van het monument zoals het zich overdag toont, bij verlichting des avonds zo goed mogelijk behouden moest blijven. object worden begrensd. De slanke vorm van het object maakte dat het gestelde probleem eenvoudig en economisch kon worden opgelost door gebruik te maken van hogedrukkwiklampen.

Het gebruikte lamptype is de HPK 125W, waarbij de ontladingszuil, die in de as van het buisje is geconcentreerd, afmetingen van ca. 30 × 1,5 mm en een gemiddelde helderheid van 640 sb heeft. De verticaal opgestelde ontladingszuil wordt door een eenvoudige optiek (sferische spiegel) enige honder-



Zoeklicht dat voor de verlichting van het Nationaal Monument werd geconstrueerd. Het is hier in iets gedraaide stand (buisje en diafragma niet verticaal) en opengebroken getekend, om het HPK lampje zichtbaar te maken. Het ontladingsbuisje *O* van de HPK lamp wordt in een keramisch blokje *B* gelegd, dat door een veer *V* tegen de keramische schermpjes *S* wordt gedrukt. Deze „lamphouder" is aan een beugel *H* bevestigd, die in het zoeklicht wordt gemonteerd en met behulp van schroeven eens voor al nauwkeurig ten opzichte van de spiegel *M* van het optische systeem kan worden gesteld. De koker met diafragma *D* vóór het zoeklicht onderschept eventueel nog buiten de gewenste bundel uitgestraald licht.

Om bij de noodzakelijk grote afstanden (40 tot 100 m) met redelijke lichtstromen uit te komen, moest het licht van de lichtbronnen zoveel mogelijk op het object worden geconcentreerd. Daar anderzijds het drukke verkeer op het plein geen hinder mocht ondervinden van de grote lichtsterkte der lichtbundels, en ook geen licht in de ramen der tegenoverliggende gebouwen mocht vallen, moesten de bundels nauwkeurig tot op het te verlichten den malen vergroot op de zuil van het monument afgebeeld. De afsluitruit van de spiegel is voorzien van horizontale ribbels om het beeld van de lichtbron, dat minder langwerpig van vorm is dan het monument, verticaal nog uit te rekken. Het zwakkere licht van de buitenzijde der ontlading en van de kwartswand, dat naast het monument zou vallen, wordt onderschept door keramische schermpjes, die ter vermijding van halfschaduwen vlak

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tegen het ontladingsbuisje moesten worden geplaatst. Met het oog op deze eis werden de genoemde HPK lampen gekozen, waarbij in tegenstelling met de normale HP of HPL lampen het ontladingsbuisje niet in een buitenballon is gemonteerd, maar open en bloot in de lucht kan branden [1]). Voor het exact reproduceren van de juiste stand der afscherming bij verwisseling van een buisje is de in vorenstaande tekening afgebeelde constructie toegepast.

De met het totale vermogen van ca. 4 kW door de 30 zoeklichten geproduceerde lichtstroom is ca. 140 000 lumen, de helderheid van het monument bedraagt 10 cd/m².

Om de verlichting tot zijn recht te doen komen, werd de reeds aanwezige openbare verlichting op het plein rondom het monument gewijzigd, zodat de beschouwer geen storend heldere lichtbronnen ziet en toch de gevels van de omliggende gebouwen geen doods karakter krijgen. Voor oriënterende proeven, genomen in het laboratorium van het Gemeente-Energiebedrijf te Amsterdam, wat betreft de genoemde wijzigingen en de verlichting van het monument, werd met vrucht gebruik gemaakt van de hierboven afgebeelde maquette, schaal 1:50, van het plein de Dam.

M. RUTGERS van der LOEFF *) en J. B. de BOER.

[1]) Zie: W. Elenbaas, Philips techn. T. **18**, 135, 1956 (no. 4).

*) Hoofdingenieur van het G.E.B. te Amsterdam.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

RELAISBUIZEN MET KOUDE KATODE

door C. H. TOSSWILL *).

621.373.444:621.387

Relaisbuizen met koude katode deden hun intrede nu ongeveer 20 jaar geleden en hebben sindsdien het thyratron, dat een gloeikatode heeft, voor sommige toepassingen verdrongen. De nieuwe buizen verbruiken slechts energie als zij actief in werking zijn en zij kunnen niet door het falen van een gloeidraad aan hun einde komen; zij kunnen echter slechts worden gebruikt voor kleine stromen en daar waar de vereiste hoge spanning en de relatief lange hersteltijd na doorslag geen bezwaren opleveren. Deze relaisbuizen hebben vele toepassingen gevonden, vooral als kiezers voor gemeenschappelijke telefoonaansluitingen („party lines"), als tellers, en als geheugenelementen, waarbij gebruik wordt gemaakt van de omstandigheid dat zij twee stabiele toestanden hebben. In dit artikel worden enige verbeteringen beschreven die in de laatste jaren aan deze buizen zijn aangebracht.

Inleiding

Het hier te beschrijven onderzoek werd ondernomen naar aanleiding van zekere kritiek op bestaande gasontladingsbuizen met koude katode en ontsteekelektrode (relaisbuizen met koude katode). In het onderzoek vallen twee stadia te onderscheiden:

1) Het ontwerpen van een experimentele buis met stabielere en beter reproduceerbare eigenschappen.
2) Het ontwikkelen van twee speciale uitvoeringen voor gebruik in meettoestellen voor radioactieve straling [1]).

Principe van de werking

De werking van de relaistriode met koude katode berust op twee fundamentele eigenschappen van gasontladingen bij lage druk. Ten eerste is de spanning welke ten minste tussen de beide hoofdelektrodes moet staan om tussen deze elektrodes een ontlading te veroorzaken (doorslagspanning), aanzienlijk groter dan de spanning die hier gedurende de ontlading tussen blijft staan (brandspanning). Ten tweede kan de doorslagspanning worden verlaagd door in de buis, tussen de derde elektrode (ontsteekelektrode of trekker) en een der hoofdelektrodes, een hulpontlading te onderhouden (de trekkerontlading). Wanneer derhalve tussen de hoofdelektrodes een spanning staat die tussen de doorslagspanning en de brandspanning in ligt, dan zal pas een hoofdontlading optreden indien voor een geschikte trekkerontlading wordt gezorgd. De hoofdontlading zal voortduren totdat de spanning tussen de hoofdelektrodes daalt beneden de brandspanning. Daar de hoofdontlading gepaard gaat met een veel grotere stroom dan de hulpontlading, kan de buis vermogensversterking leveren.

Of de trekkerontlading de buis zal doen doorslaan, hangt af van de sterkte en de duur van de trekkerontlading, en bovendien van de geometrie van de buis. *Fig. 1* geeft voor een bepaalde buis het verband tussen de spanning tussen de hoofdelektrodes (voortaan als „anodespanning", V_a, aangeduid) en

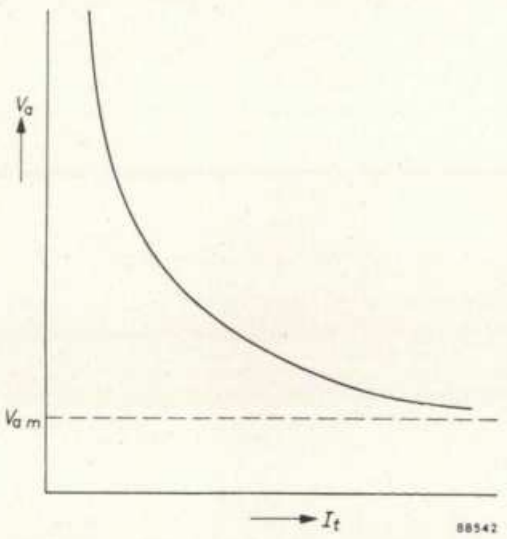


Fig. 1. De overneemkarakteristiek van een relaisbuis met koude katode. De kromme toont het verband tussen de anodespanning V_a en de minimaal vereiste trekkerstroom I_t waarbij doorslag optreedt. Is doorslag eenmaal opgetreden, dan blijft de buis geleiden totdat de anodespanning beneden de brandspanning V_{am} wordt gebracht.

*) Het in dit artikel beschreven onderzoek werd uitgevoerd bij Mullard Radio Valve Co., Mitcham, Surrey, Engeland.

[1]) E. Franklin en J. Hardwick, The design of portable gamma and beta radiation measuring instruments, J. Brit. Instn. Radio Engrs. **11**, 417-434, 1951. D. Taylor, Radiac instrumentation, J. sci. Instr. **29**, 315-322, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de minimaal vereiste waarde van de trekkerstroom (I_t) waarbij de hoofdontlading inzet. Men zegt dat de hoofdelektrodes de ontlading overnemen en noemt fig. 1 daarom de „overneemkarakteristiek". De figuur heeft betrekking op een buis waarbij trekker en hoofdontlading een gemeenschappelijke katode hebben.

Het tot stand komen van de trekkerontlading zelf vergt enige tijd; men onderscheidt hierbij de „statistische vertraging" en de „opbouwtijd" (zie onder). De trekkerontlading is echter slechts van belang totdat de hoofdontlading is begonnen; is dit eenmaal het geval, dan kan men de hoofdontlading slechts onderbreken door de spanning V_a tussen de hoofdelektrodes beneden de brandspanning (V_{am}) te laten dalen. Indien dit gebeurt, keert het gas in de buis terug tot de toestand die heerste voor de hoofdontlading inzette: het gas wordt „gedeïoniseerd", in een zekere karakteristieke tijd. In de wijze waarop de ontlading wordt gedoofd en in de irreversibele werking van de stuurelektrode lijken relaistriodes met koude katode dus op thyratrons, die een gloeikatode hebben.

De doorslageigenschappen van relaistriodes kunnen vollediger worden beschreven door een gesloten kromme als in *fig. 2* is getekend. Deze figuur heeft betrekking op een triode, type Z 300 T (*fig. 3*). Punten die binnen de kromme liggen, corresponderen met combinaties van anode- en trekkerspanningen die niet tot doorslag leiden. Om doorslag te laten optreden, moeten de anodespanning en/of de trekkerspanning zó veranderen dat de kromme ergens wordt overschreden. Nadat dit is gebeurd en de ontlading is ingeleid, kunnen de spanningen op de anode en op de trekker opnieuw corresponderen met een punt binnen de kromme zonder dat de ontlading dooft. Wordt de kromme overschreden in het gedeelte *a*, dan ontsteekt de buis met een ontlading van trekker naar katode (de in deze aanduiding vervatte richting is die van de positieve stroom). Uit de grafiek blijkt dat de in dit geval vereiste trekkerspanning onafhankelijk is van de anodespanning. Wordt het gedeelte *b* van de kromme overschreden, dan treedt een ontlading van anode naar katode op. De gedeelten *c*, *d*, *e*, en *f* hebben resp. betrekking op ontladingen van anode naar trekker, van katode naar trekker, van katode naar anode, en van trekker naar anode.

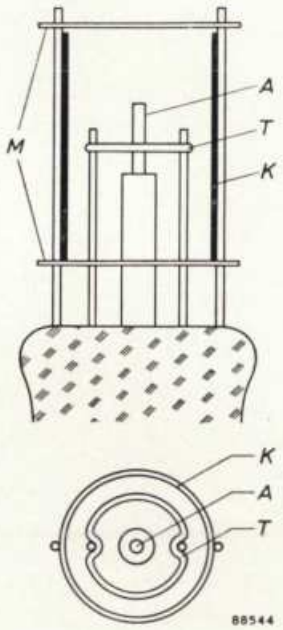


Fig. 3. Opstelling van de elektrodes in de relaistriode type Z 300 T. *A* anode, *T* trekker, *K* katode, *M* afstandsplaatjes van mica. De buis heeft een argonvulling met een druk van 8 mm Hg. De elektrodes zijn van nikkel, de katode is aan de binnenzijde bedekt met een laagje bariumoxyde.

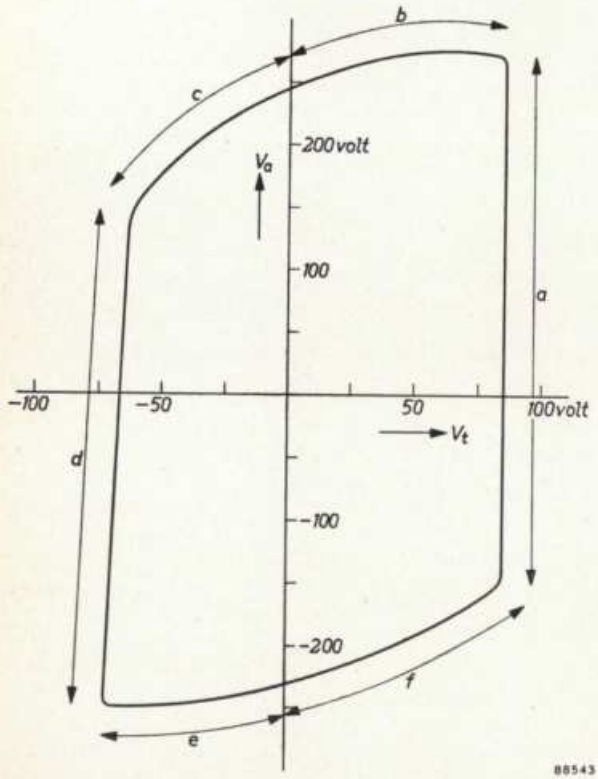


Fig. 2. Doorslageigenschappen van de relaistriode type Z 300 T. Als abscis is de trekkerspanning V_t, als ordinaat de anodespanning V_a uitgezet. Opdat de buis zal ontsteken, moet de gesloten kromme ergens van binnen naar buiten worden overschreden. Tussen welke elektrodes de eerste ontlading zal optreden, hangt af van de plaats waar de kromme wordt overschreden (gedeelten *a* tot en met *f*, zie tekst).

Door het laagje bariumoxyde waarmee zij is bedekt, heeft de katode van de Z 300 T een geringere uittreepotentiaal dan de anode, waardoor de buis gelijkrichtende eigenschappen bezit. Voor gegeven voedingsspanning en serieweerstand is dus de stroom

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

groter als hij van anode naar katode vloeit, dan wanneer hij de omgekeerde richting zou hebben. Om deze reden wordt gebruik gemaakt van het eerste kwadrant van fig. 2, waar de spanningen op de anode en op de trekker beide positief zijn.

Het doorslagmechanisme; statistische vertraging en opbouwtijd

Als tussen niet-verhitte elektrodes in een gas een spanning van enige volt wordt aangelegd, gedraagt dit gas zich vrijwel als een volmaakte isolator [2]). Ionisatie door kosmische straling doet een zeer klein stroompje vloeien, dat tot een verzadigingswaarde nadert als men de spanning zo ver opvoert dat alle gevormde elektronen en ionen op de elektrodes terechtkomen. Deze verzadigingsstroom is echter niet constant: als gevolg van het statistische karakter van de ioniserende straling vertoont de stroom grote fluctuaties. De verzadigingsstroom zal veel groter zijn en vrijwel geen fluctuaties meer vertonen indien de katode wordt blootgesteld aan licht, zodat een overvloed van foto-elektronen wordt geëmitteerd.

Als de spanning tussen de elektrodes wordt opgevoerd, krijgen de vrije elektronen voldoende energie om de gasatomen aan te slaan, welke atomen dan onder uitzending van licht naar de grondtoestand terugkeren. Ook kunnen de atomen in een metastabiele toestand worden gebracht of worden geïoniseerd, mits de elektronen waarmee zij botsen, hiertoe voldoende energie bezitten. Bij de gasdrukken en de elektrodenafstanden die in relaisbuizen gebruikelijk zijn, bedraagt de gemiddelde vrije weglengte van de vrije elektronen slechts een fractie van de afstand tussen de elektrodes. Ionisatie door botsing zal dan ook pas optreden indien de aangelegde spanning verscheidene malen groter is dan de ionisatiespanning van het gas. De elektronen krijgen anders geen gelegenheid een energie op te nemen die voldoende is om te ioniseren; voordien hebben zij dan door botsingen die aangeslagen toestanden te voorschijn roepen, de verzamelde energie grotendeels weer moeten afstaan.

De in het gas gevormde positieve ionen nemen tussen twee botsingen globaal dezelfde energie op als vrije elektronen. Doordat echter hun massa gelijk is aan die van de gasatomen, staan zij, zelfs bij elastische botsingen, gemiddeld reeds de helft van hun energie af. De positieve ionen dragen slechts in geringe mate bij tot de ionisatie.

[2]) Zie voor een algemeen overzicht van de bij gasontladingen optredende verschijnselen: F. M. Penning en M. J. Druyvesteyn, Rev. mod. Phys. **12**, 87-175, 1940, of F. M. Penning, Elektrische gasontladingen, Servire, 's Gravenhage 1955.

Is de spanning zover opgevoerd dat de ionisatie door botsingen van elektronen met atomen is begonnen, dan neemt de stroom snel toe met de spanning. Zij η het aantal nieuwe vrije elektronen, gevormd door een enkel vrij elektron wanneer dit laatste een potentiaalverschil van 1 volt doorloopt (η is de ionisatiecoëfficiënt), dan is het aantal nieuwe vrije elektronen dn dat wordt gevormd indien n elektronen een afstand dl tussen de elektrodes doorlopen:

$$dn = n\,\eta\,E\,dl.$$

Nemen we aan dat het elektrische veld homogeen is (veldsterkte E overal even groot), en dat er door foto-emissie n_0 elektronen per seconde uit de katode worden vrijgemaakt, dan levert integratie van dn het aantal elektronen n dat per seconde bij de anode aankomt:

$$n = n_0 e^{\eta EL} = n_0 e^{\eta V}.$$

Hierin is L de afstand tussen de elektrodes en V de aangelegde spanning.

Voor de anodestroom kan men schrijven:

$$I = I_0 e^{\eta V}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin I_0 de „beginstroom" is, gevormd door de van de katode vertrekkende foto-elektronen.

Zolang de anodestroom bepaald wordt door (1), kan de ontlading niet zelfstandig worden: als I_0 verdwijnt (doordat men het op de katode vallende licht onderschept), houdt ook de anodestroom op. Fysisch betekent dit dat, als eenmaal de elektronen, gevormd tot het ogenblik waarop het licht wordt onderschept, en ook de door deze elektronen op hun weg naar de anode nog te vormen elektronen en ionen, de elektrodes hebben bereikt, de stroom afbreekt, tenzij er nog een ander proces werkzaam is dat voortdurend voor het ontstaan van nieuwe vrije elektronen zorgt. Zo'n proces kan worden verschaft door de positieve ionen die op de katode vallen en hieruit verdere elektronen vrijmaken, waardoor de ontlading onderhouden kan worden. Het aantal nieuwe elektronen dat uit de katode wordt vrijgemaakt per tussen de elektrodes gevormd ion, wordt de secundaire ionisatiecoëfficiënt γ genoemd. Deze coëfficiënt hangt nauw samen met de uittreearbeid φ van de katode; voor een gegeven gas is γ groter naarmate φ kleiner is.

Als we dit secundaire proces in rekening brengen, blijkt het verband tussen I en V te luiden:

$$I = I_0 \frac{e^{\eta V}}{1-\gamma\,[e^{\eta V}-1]}. \quad \ldots \quad (2)$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In *fig. 4* is dit verband tussen I en V uitgezet voor verschillende waarden van de beginstroom I_0. Heeft de spanning V over de ontladingsbuis de waarde V_b, gedefinieerd door

$$\gamma\,[e^{\eta V_b} - 1] = 1, \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

dan mag men niet meer concluderen dat $I \to 0$ als $I_0 \to 0$, want vergelijking (2) laat dan I onbepaald. Wat nu gebeurt, kan men zien in fig. 4. De spanning V tussen de elektrodes en de stroom I corresponderen voor een gegeven waarde van I_0 met het snijpunt van de kromme voor deze waarde van I_0 en de werklijn, aangeduid met R, welke werklijn bepaald wordt door de e.m.k. V_s van de voedingsbron en de weerstand R in serie met voedingsbron en ontladingsbuis. (Deze werklijn is gebogen doordat langs de abscis log I is uitgezet.)

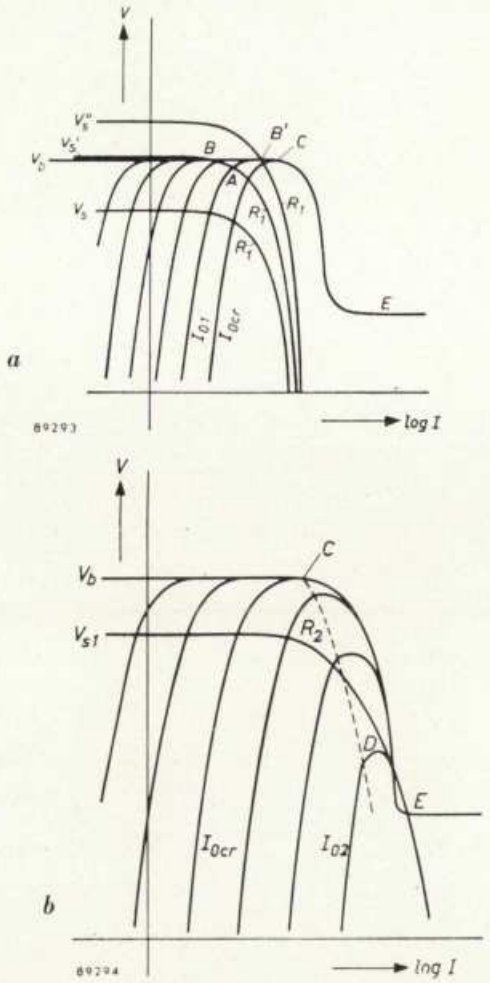


Fig. 4. Algemene vorm van de spanning-stroomkarakteristieken volgens formule (2) van een gasontlading tussen twee elektrodes, voor verschillende waarden van de beginstroom I_0. Langs de abscis is log I uitgezet. De krommen snijden de abscis in de punten log I_0.
a) Normale, zelfstandige doorslag, waarbij $I_0 < I_{0\,cr}$, zoals in een koudekatodebuis optreedt tussen trekker en katode. De krommen R_1 zijn werklijnen (gebogen doordat de logaritme van de stroom is uitgezet) voor een serieweerstand R_1 en corresponderend met voedingsspanningen V_s, V_s' en V_s''. Stijgt de voedingsspanning boven V_b (b.v. tot V_s'), dan treedt doorslag op en bij een beginstroom I_0 stabiliseert zich de ontlading in het werkpunt A. Nadert nu I_0 tot nul, dan verschuift dit werkpunt naar B. Bij de hogere voedingsspanning V_s'' is B' het werkpunt voor $I_0 = 0$. Is de serieweerstand klein genoeg, dan kan ook een glimontlading optreden (nl. als het werkpunt op het gedeelte E van de karakteristiek komt).
b) Ingeleide doorslag, waarbij $I_0 > I_{0\,cr}$, zoals optreedt tussen de hoofdelektrodes (anode en katode) van een koudekatodebuis. Rechts van de stippellijn door C wordt de invloed van de ruimtelading merkbaar; deze verlaagt de doorslagspanning. Voor een beginstroom I_{02} is deze gezakt tot de waarde gegeven door punt D. R_2 is de werklijn die correspondeert met een voedingsspanning V_{s1} en een serieweerstand R_2. In de figuur is V_{s1} zo gekozen dat deze werklijn de kromme I_{02} raakt. Is er geen stroom I_{02}, dan geleidt de buis niet, maar wordt I_0 opgevoerd tot ten minste de waarde I_{02}, doordat een trekkerontlading plaatsheeft, dan treedt doorslag voor de hoofdontlading op. Deze hoofdontlading stabiliseert zich in het punt E.

Als de voedingsspanning, V_s, wordt opgevoerd (fig. 4*a*), schuift de werklijn verticaal naar boven. Bij een voedingsspanning iets hoger dan V_b zal een zelfstandige ontlading optreden. Spanning en stroom corresponderen dan b.v. met het werkpunt A in fig. 4*a*. Dat de ontlading zelfstandig is, blijkt hieruit dat, als nu $I_0 \to 0$, het werkpunt langs de werklijn naar links verschuift totdat de spanning op de buis de doorslagwaarde V_b heeft bereikt (punt B in fig. 4*a*).

Voert men de voedingsspanning V_s verder op, dan neemt ook de stroom toe (punt B schuift naar B'), maar V houdt de waarde V_b. Bereikt I de waarde corresponderende met punt C, dan wordt de invloed van de optredende ruimtelading merkbaar. Het veld, dat tot nu toe homogeen was, begint te vervormen. Een nog verdere vergroting van I gaat gepaard met een daling van de spanning V tussen de elektrodes en met de ontwikkeling van een glimontlading (gebied E in fig. 4*a*).

Zolang de beginstroom I_0 beneden een zekere kritieke waarde $I_{0\,cr}$ blijft, heeft de doorslagspanning (dat is de maximale spanning V_{max} die wordt bereikt gedurende het tot stand komen van een zelfstandige ontlading) de constante waarde V_b, welke waarde uitsluitend afhangt van de materialen, de geometrie en de gasvulling van de ontladingsbuis. Komt echter I_0 boven deze kritieke waarde, dan wordt de doorslagspanning een functie van I_0. Nu treden de ruimteladingseffecten reeds op voordat de spanning V_b is bereikt en veroorzaken zij dat de ontlading reeds zelfstandig wordt bij een spanning beneden V_b. Beschouw b.v. de kromme voor I_{02} ($> I_{0\,cr}$) in fig. 4*b* en de werklijn voor de serieweerstand R_2. Voert men de voedingsspanning langzaam op tot de waarde V_{s1}, dan passeert V zijn maximale waarde bij D, waarna doorslag optreedt. De spanning V tussen de elektrodes daalt nu plotseling en stroom en spanning stellen zich in op het punt E, dat correspondeert met een glimontlading.

Tussen trekker en katode van een koudekatodebuis

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

treedt een normale doorslag op. Hiermee wordt het volgende bedoeld. I_0 is hier normaliter veel kleiner dan $I_{0\,cr}$. Een spanningsstoot brengt de spanning tussen trekker en katode tijdelijk boven de doorslagwaarde (wij zullen deze doorslagwaarde V_{tb} noemen) en veroorzaakt een zelfstandige ontlading tussen trekker en katode voor de duur van de spanningsstoot. (Dikwijls is tussen trekker en katode een condensator aangebracht met het doel de trekkerontlading te versterken of de duur ervan te verlengen.) Een gedeelte van de gevormde ladingsdragers komt terecht in de ruimte voor de hoofdontlading tussen anode en katode en levert daar een „I_0" die op de hieronder te beschrijven manier de hoofdontlading inleidt. (Of de trekkerontlading een Townsend-ontlading is — d.i. een ontlading met een stroom kleiner dan die corresponderend met het punt C in fig. 4 — dan wel een glimontlading — d.w.z. met een werkpunt in de omgeving van punt E —, hangt af van de schakeling. Er moet natuurlijk voor worden gezorgd dat de trekkerontlading intensief genoeg is om de I_0 te leveren die nodig is om de hoofdontlading in te leiden; zie onder.)

De hoofdontlading in een koudekathodebuis is een ingeleide ontlading. De spanning waarbij een zelfstandige ontlading kan inzetten, wordt verlaagd indien men zorgt voor een I_0 die groter is dan de geldende waarde van $I_{0\,cr}$ (fig. 4*b*). Zoals boven werd vermeld, wordt deze I_0 geleverd door de trekkerontlading, die gemakkelijk zo kan worden gemaakt dat zij genoeg ladingsdragers levert om $I_{0\,cr}$ te overschrijden. (In fig. 1 is reeds aangegeven hoe de doorslagspanning wordt verlaagd als functie van de trekkerstroom I_t.) Als nu tussen de hoofdelektrodes een spanning wordt gelegd iets beneden de normale doorslagspanning (hierna V_{ab} te noemen), zal de buis in rust blijven totdat doorslag wordt ingeleid door een geschikte beginstroom I_0 die afkomstig is van een trekkerontlading.

Het duurt altijd een zekere tijd vanaf het ogenblik dat de spanningsstoot op de trekker is begonnen, totdat de trekkerontlading zich heeft ontwikkeld. Deze tijd bestaat uit twee componenten. De eerste, die verre van constant is, wordt de „statistische vertraging" genoemd. Zij wordt veroorzaakt doordat het wachten is op het ogenblik dat er ten minste één elektron op een gunstige plaats aanwezig is om de ontlading op gang te brengen. In de praktijk blijkt dat, als $I_0 \ll I_{0\,cr}$, deze vertraging sterk fluctueert en soms zeer langdurig kan zijn. Maakt men I_0 groter, dan verdwijnt de statistische vertraging geleidelijk. Het is wenselijk dat I_0 een waarde heeft tussen die welke nodig is om een statistische vertraging juist te voorkomen en de waarde $I_{0\,cr}$. De stroom die dan tussen de elektrodes vloeit (dit is niet I_0, maar een grotere stroom, ten gevolge van het lawine-effect), noemt men „waakstroom". Bij vele katodes verschaft een normaal verlichtingsniveau van de omgeving een dergelijke waakstroom. Andere methodes om een waakstroom te voorschijn te roepen, komen nog ter sprake.

De tweede component van de tijd, nodig om de ontlading te ontwikkelen, is de zg. opbouwtijd. Dit is de tijd die verloopt vanaf het ogenblik dat het eerste gunstig geplaatste elektron verschijnt, totdat de ontlading de evenwichtstoestand heeft bereikt. De opbouwtijd vertoont geen fluctuaties, maar hangt sterk af van de mate waarin de trekkerspanning stijgt boven de doorslagspanning V_{tb} voor de trekkerontlading. Om de opbouwtijd kort te houden, moet de spanningsstoot enige tientallen volt boven de waarde V_{tb} komen (b.v. V_s'' in fig. 4*a*).

Wenselijke eigenschappen van relaisbuizen met koude katode

Om het toepassingsgebied van relaisbuizen met koude katode te vergroten, moet men streven naar:

a) Goede reproduceerbaarheid van doorslag- en brandspanning, zowel van buis tot buis als voor elke buis afzonderlijk gedurende zijn levensduur.
b) Snelle werking, zo mogelijk even snel als die van buizen met gloeikatode.
c) Grote ingangsgevoeligheid.
d) Vermindering of opheffing van de statistische vertraging, ook in ruimten met een laag verlichtingsniveau.
e) Vermindering van de impedantie en van de ruis; voor sommige toepassingen, b.v. in kanalen voor het overbrengen van de spraak, vertonen de meeste koudekatodebuizen te veel ruis.
f) Robuustheid en geringe afmetingen.

Het is niet mogelijk aan al deze eisen tegelijk te voldoen, daar sommige van hen tot op zekere hoogte tegenstrijdig zijn. Het eerste doel dat wij ons stelden, was daarom een buis te ontwikkelen met verbeteringen op de punten (a), (d) en (f). Deze punten werden gekozen omdat zij niet onverenigbaar bleken te zijn en ook omdat zij samen bij vele toepassingen van belang zijn [3]).

[3]) Anderen hebben langs andere wegen getracht de koudekatodebuizen te verbeteren. In het Philipslaboratorium te Eindhoven is een experimentele buis voor toepassing bij spraakfrequenties ontwikkeld, type Z 500 T: zie J. Domburg en W. Six, Philips techn. T. **15**, 285-300, 1953. Andere onderzoekingen op dit gebied vindt men beschreven door M. A. Townsend en W. A. Depp, Bell Syst. tech. J. **32**, 1371-1391, 1953. Voor onderzoekingen over het opvoeren van de snelheid, zie G. H. Hough en D. S. Ridler, Electronic Eng. **24**, 152-157, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Men zal opmerken dat de drie punten alle betrekking hebben op de betrouwbaarheid; de verbetering hiervan staat dan ook bovenaan op het verlanglijstje. Verder zal men inzien dat, hoewel een vergroting van de ingangsgevoeligheid in dit stadium op zichzelf niet werd nagestreefd, de effectieve gevoeligheid van een schakeling als geheel toch zal verbeteren als de karakteristieken nauwkeuriger bekend en bovendien stabiel zijn: men kan dan met kleinere ingangssignalen werken zonder dat men bang behoeft te zijn dat de buis niet zal reageren, of, nog erger, dat de buis zal doorslaan zonder dat er een signaal is geweest.

Verbetering van betrouwbaarheid en prestatie

Doorslag- en brandspanning van koudekatodebuizen zijn lager naarmate de gas-ionisatiecoëfficient η en de secundaire ionisatiecoëfficiënt γ groter zijn. Het lijkt daarom verstandig het gas en de verdere materialen voor de buis zo te kiezen dat beide coëfficiënten groot en constant worden: de argonvulling en de nikkelen katode met bariumoxydelaagje van de buis type Z 300 T zijn met het oog hierop gekozen. De sterkte van de bariumoxydelaag laat echter te wensen over: haar eigenschappen veranderen reeds bij normale ontladingen, en zij verstuift zelfs geheel als een tijdelijke overbelasting optreedt. Hierdoor, en door de invloed van gasvormige verontreinigingen afkomstig van de wanden en andere delen van de buis, ontstaan veranderingen in η en γ welke leiden tot de bovenbedoelde ongewenste variaties in de eigenschappen. Maatregelen die genomen zijn om hierin verbetering te brengen, worden hieronder besproken.

Een andere kwestie die de aandacht vraagt, is de opheffing van de statistische vertraging. Wij hebben reeds gezien dat het voor dit doel nodig is dat er een waakstroom vloeit.

Stabilisatie door verstuiving van elektrodemateriaal

Penning c.s. heeft in 1946 een techniek beschreven om de fundamentele parameters van een glimontlading constant te maken [4]). Hij deed dit ter voorbereiding van zijn succesvolle metingen van de „normale katodeval" (het potentiaalverschil tussen katode en glimlicht, dat binnen zekere grenzen onafhankelijk is van de stroom). Deze techniek, die bestond in een lang voortgezette verstuiving van het katodemateriaal (molybdenium), is natuurlijk goed bruikbaar bij iedere glimontlading waarbij het op reproduceerbaarheid en stabiliteit van doorslag- en brandspanning aankomt. De techniek werd dan ook al spoedig toegepast bij de spanningsstabiliseerbuizen 85 A 1 en 85 A 2, waarin een katode van molybdenium en een gasvulling van neon met argon wordt gebruikt [5]). Ook voor relaisbuizen met koude katode is de techniek aantrekkelijk, hoewel tegenover de voordelen zeker ook nadelen staan. Deze nadelen zijn: de aan te leggen spanningen zijn veel hoger dan die bij buizen waarin barium, eventueel kalium, wordt gebruikt. Een normale verlichting van de katode is niet in staat een fotostroom te veroorzaken die de waakstroom kan leveren, nodig om statistische vertraging te voorkomen. Ten slotte levert de verstuiving zekere fabricagemoeilijkheden op, terwijl ook de prijs van de materialen een factor van enige betekenis is. De voordelen winnen het echter glansrijk van de nadelen.

Om katodeverstuiving met succes te kunnen toepassen bij de fabricage van relaisbuizen, moest de opstelling van de elektrodes geheel anders worden dan die bij de Z 300 T (fig. 3). Zo konden geen afstandsplaatjes van mica worden gebruikt. Deze onderscheppen nl. het verstuivende katodemateriaal op zijn weg naar de wanden van de buis en zij vormen, indien zij met dit materiaal zijn bedekt, een weg voor lekstromen tussen de elektrodes. Ook scheidt mica dikwijls in de loop van de tijd, gedurende de werking van de buis, door zijn laagjesstructuur schadelijke stoffen af. Voorts is een cilindervormige katode niet gunstig. De katode moet een zodanige vorm hebben dat het verstuivende materiaal onbelemmerd kan ontsnappen, en zij moet zo zijn opgesteld dat, terwijl de buiswand met een gelijkmatige laag wordt bedekt, de wandgedeelten rond de elektrodedoorvoeringen schoon blijven. Ten slotte moet de oppervlakte van de buiswand klein genoeg zijn om de bedekking niet te veel tijd te doen vergen, en alle wandgedeelten moeten voor het verstuivende materiaal bereikbaar zijn, hetgeen b.v. bij de oude constructie met „kneep" niet het geval is.

Uit proeven is gebleken dat een katode in de vorm van een langwerpig plaatje, gemonteerd in een vlak parallel aan de as van de buis, in een normale miniatuurballon, aan al deze eisen tegemoetkomt. *Fig. 5* toont de constructie. De praktijk heeft bewezen dat deze, er zo teer uitziende, constructie zeer goed bestand is tegen bij normaal gebruik optredende schokken.

---

[4]) F. M. Penning en J. H. A. Moubis, Philips Res. Rep. **1**, 119-128, 1946; T. Jurriaanse, F. M. Penning en J. H. A. Moubis, Philips Res. Rep. **1**, 225-230, 1946; T. Jurriaanse, Philips Res. Rep. **1**, 407-418, 1946.

[5]) T. Jurriaanse, Philips techn. T. **8**, 273-278, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

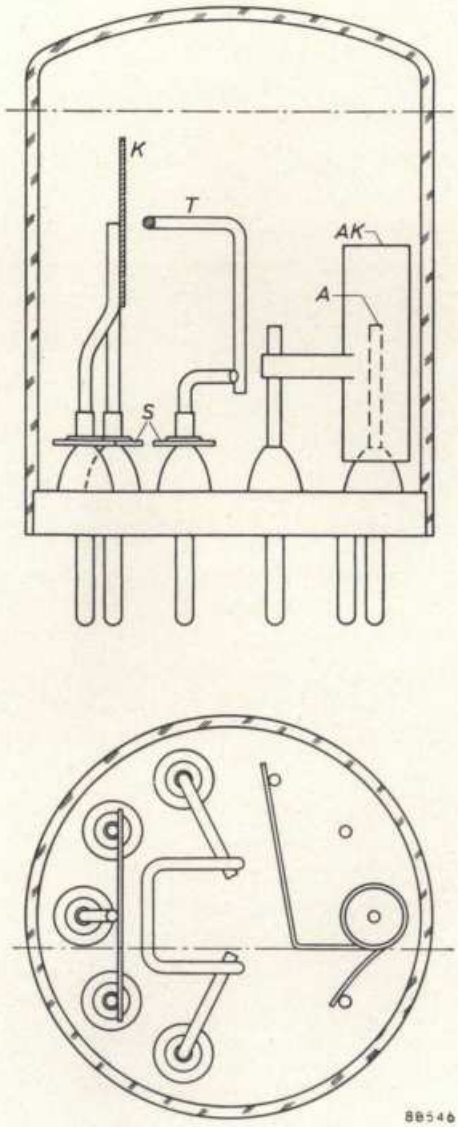


Fig. 5. Opstelling (vereenvoudigd) van de elektrodes in een experimentele relaisbuis met gedeeltelijk op de glaswand verstoven elektrodes van molybdenium. Deze buis heeft vier elektrodes. *K* katode, *T* trekker, *AK* buisvormige hulpkatode die de anode *A* omgeeft. Met *S* zijn schildjes aangeduid die de glaswand ter plaatse van de elektrodedoorvoeringen schoon houden gedurende het verstuiven van het elektrodemateriaal.

Het opwekken van de waakstroom

Voor het opwekken van de waakstroom bestaan verschillende methodes. Men kan:

a) de katode blootstellen aan normaal daglicht — de eenvoudigste oplossing, toegepast in de Z 300 T. De methode is echter niet bruikbaar voor een katode van molybdenium, want de foto-emissie van dit materiaal in het spectrale doorlatingsgebied van normale glassoorten is verwaarloosbaar klein. Vertrouwt men op het foto-elektrische effect, dan beperkt men bovendien op minder wenselijke wijze de omstandigheden waaronder de buis bruikbaar is.

b) radioactieve stoffen gebruiken. Deze oplossing, hoewel beter dan die genoemd onder (a), werd verworpen omdat wij geen ervaringen hadden met „zachte" stralers, die buiten de buis geen ongewenste invloeden zouden mogen hebben, en vooral omdat de onder (c) te noemen methode behalve het verkrijgen van de waakstroom nog andere voordelen oplevert.

c) een hulpontlading gebruiken. Zo'n ontlading kan direct zijn, d.w.z. tussen trekker en katode, of indirect, waarbij de werking daarop berust dat sommige van de gevormde ionen de ruimte tussen trekker en katode bereiken, eventueel uit aanzienlijke afstand.

De directe methode wordt toegepast in een der hieronder te beschrijven buizen (Z 801 U). Aan de toelaatbare waarde van zo'n directe waakstroom wordt een bovenste grens gesteld (iets kleiner dan 1 microampère) door de eis dat de velden in de buis niet door een te grote ruimtelading mogen worden vervormd. Dit is een bezwaar, want het leidt tot zo hoge waarden voor de weerstand R_t die in serie met de trekker moet worden opgenomen (zie b.v. fig. 6), dat R_t vergelijkbaar wordt met de optredende, in grootte sterk fluctuerende, lekweerstanden, en dit bemoeilijkt een betrouwbare instelling.

Een indirecte ontlading wordt toegepast in de stabiliseerbuis Z 800 U. De hulpontlading heeft hier plaats tussen de anode en een hulpkatode. Deze laatste is buisvormig en omvat de draadvormige anode (fig. 5). Zo'n buisvormige hulpkatode verschaft een economische oplossing voor twee problemen: hoe, in een miniatuurbuis, een effectieve elektrodenafstand te verkrijgen groot genoeg om een nuttig verschil tussen V_{ab} en V_{am} te realiseren, en hoe een ontlading tussen anode en hulpkatode af te schermen van de ruimte tussen katode en trekker. Door de mate waarin de top van de anode wegduikt in de hulpkatode te variëren, kan men V_{ab} regelen zonder de rest van de buis te beïnvloeden, terwijl de aanwezigheid van de hulpontlading de potentiaal van de hulpkatode ten opzichte van de anode stabiliseert. De hulpontladingsstroom mag nu 10 μA bedragen en aldus een orde van grootte bereiken die met normale weerstanden kan worden ingesteld, zonder dat overmatige invloed wordt uitgeoefend op het veld in de ruimte tussen ontsteekelektrode en katode.

Door de invoering van een hulpontlading wordt de maximale vertraging tussen de ontsteekimpuls en de doorslag teruggebracht van circa 1 s tot de orde van 100 μs; de resterende vertraging wordt vrijwel geheel gevormd door de opbouwtijd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Experimentele relaisbuis met koude katode

De experimentele buis van bovenbesproken constructie (fig. 5) bleek goed te werken. Om de trekkerspanning V_{tb} minimaal te houden, werd de afstand tussen trekkerelektrode en katode klein gemaakt (1-2 mm). Bovendien werd aan de gasvulling van neon met een druk van 40 mm Hg een spoor argon (circa 1%) toegevoegd. Onder deze omstandigheden was $V_{tb} \approx 115$ V.

Verkorting van de anodedraad om de top binnen de buisvormige hulpkatode te laten wegduiken en zodoende de doorslagspanning tussen anode en katode (V_{ab}) op te voeren, is slechts effectief tot zekere grens, welke wordt gesteld door het optreden van doorslag tussen hulpkatode en katode. Bij verdere verkorting van de anode zal de waarde van V_{ab} niet verder toenemen. Bij de gebruikte gasvulling is $V_{ab\,max} = 250$ V. Onder deze omstandigheden is de brandspanning $V_{am} = 100$ V.

De stabiliteit van de trekkerdoorslagspanning der eerste experimentele buizen beantwoordde niet geheel aan de verwachtingen. De oorzaak bleek te liggen in een verontreiniging van de — toen van nikkel vervaardigde — trekker. Zo lang voor trekker en katode verschillende materialen werden gebruikt, bleek het ondoenlijk beide door verstuiving schoon te maken. Het gebruik van molybdenium voor de trekker levert een voldoende stabiliteit, maar heeft het nadeel dat, in schakelingen waarin de trekker op katodepotentiaal kan komen, het nodig kan zijn de maximale werkspanning te verlagen om ongewenste doorslag tussen trekker en anode te voorkomen.

De in de doofspanning V_{am} optredende variaties zijn van dezelfde grootteorde als die bij de spanningsstabiliseerbuis (diode) 85 A 2 en blijven ruim binnen toelaatbare grenzen.

Zelfdovende werking van relaisbuizen met koude katode

De betere stabiliteit en de vrijwel volledige eliminatie van de statistische vertraging openden de weg voor het ontwerp van twee buizen voor zekere speciale doeleinden, nl. voor het gebruik in een stabilisatieschakeling (buis Z 800 U) en voor gebruik in een telfrequentiemeter (buis Z 801 U) [6]). Eerstgenoemde moest reageren op zeer kleine continue stromen, de tweede op zeer kleine stroomimpulsen.

Zowel de Z 800 U als de Z 801 U is geschikt voor bepaalde conventionele toepassingen van koudekatodebuizen, maar zij zijn in de eerste plaats bedoeld voor zelfdovende schakelingen. In dit type schakeling (*fig. 6*) wordt de anodestroom geleverd door de ontlading van een condensator C_a; de stroom wordt derhalve telkens onderbroken. Iedere keer dat de buis ontstoken wordt door een impuls op de trekker, ontlaadt de condensator C_a zich over de buis. Het voordeel van de zelfdovende schakeling is dat men met impulsen op de hulpelektrode de gemiddelde anodestroom continu kan regelen. Dit maakt deze schakeling geschikt voor een aantal belangrijke toepassingen.

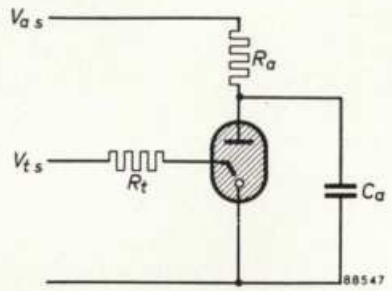


Fig. 6. Een relaisbuis met koude katode in een zelfdovende schakeling.

In zelfdovende schakelingen is het gedrag van relaisbuizen met koude katode totaal anders dan in schakelingen waarin de stromen continu vloeien. Uit metingen is gebleken dat, om een continue glimontlading die zich eenmaal heeft ingesteld, bij constant gehouden voedingsspanning te doven, R_a op zijn minst tot 10^8 Ω moet worden opgevoerd. Is echter een condensator C_a aanwezig, dan kan reeds zelfdoving optreden als R_a slechts een honderdste van deze waarde heeft.

Bestudering van de zelfdovende ontlading leidt tot de volgende verklaring. Doordat er geen weerstand is die de ontladingsstroom van de condensator beperkt, wordt doorslag gevolgd door een buitengewoon grote stroom door de buis. Deze stroom heeft zijn piek bereikt en is vervolgens reeds weer sterk afgenomen, als C_a voldoende is ontladen om V_a te doen afnemen tot de normale brandspanning V_{am}. Hij heeft dientengevolge een abnormale wolk van positieve ionen rond de anode gevormd. Terwijl deze wolk wegtrekt (naar de katode), kan de anodespanning in een „doorzwaai" een flink eind beneden V_{am} dalen. Aan het einde van deze doorzwaai zorgt de stroom door R_a ervoor dat V_a weer stijgt tot V_{am}, maar niet voordat het deïonisatieproces ver genoeg is voortgeschreden om de ontlading te onderbreken. De doorzwaai, die de buis schijnbaar inductieve eigenschappen verleent, brengt V_a gewoonlijk omlaag tot $^3/_4$ van V_{am}.

Relaisbuis met koude katode voor stabilisatie

De buis, type Z 800 U [7]) (*fig. 7*), is oorspronkelijk ontworpen voor toepassing in een gestabiliseerd hoogspanningsvoedingsapparaat voor geigertellers, te gebruiken in toestellen voor het meten van radioactieve straling [1]) (stralingsmonitors), nl. in de van Goulding afkomstige stabilisatieschakeling

[6]) Deze twee speciale buizen zijn niet in de handel verkrijgbaar.

[7]) C. H. Tosswill, Brits octrooi no. 709103.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

voor geringe stroom [8]) (*fig. 8*). De buis moet aan de volgende drie eisen voldoen:

1) V_{ab} is ongeveer 300 V.
2) De buis moet bruikbaar zijn in een zelfdovende schakeling.
3) De ingangsstroom, dat is dus de opgenomen trekkerstroom, moet kleiner zijn dan 10^{-7} A.

Bij dezelfde opstelling van de elektrodes als in de experimentele buis (fig. 5), werd de vereiste doorslagspanning verkregen met een gasvulling van neon met 3% argon, bij een druk van circa 40 mm Hg. Het percentage argon is iets groter dan dat in de experimentele buis (1%). Deze wijziging

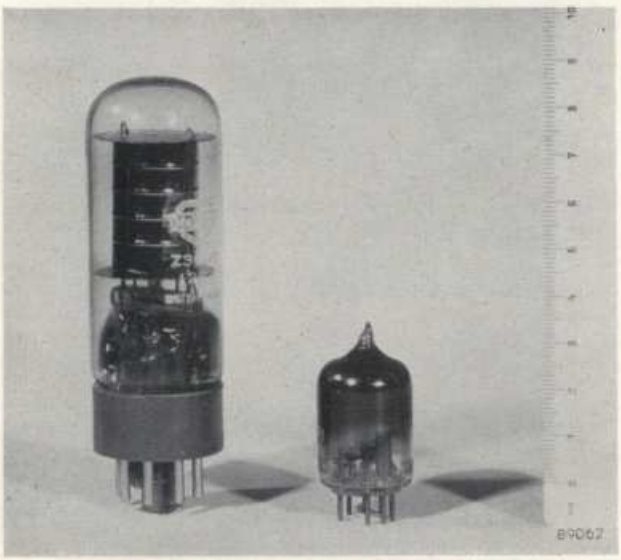


Fig. 7. Rechts de koudekatodebuis, type Z 800 U (zie ook fig. 5). Ter vergelijking van de afmetingen is links het eerder genoemde type Z 300 T meegefotografeerd (zie ook fig. 3). De buisvormige hulpkatode en de afschermplaatjes, die de elektrodedoorvoeringen voor verstoven elektrodemateriaal moeten vrijwaren, zijn zichtbaar door de glaswand van de Z 800 U heen. Deze buis en de later te beschrijven buizen voor telfrequentiemetingen (type Z 801 U, fig. 14) en voor algemene doeleinden (type Z 803 U) zijn identiek wat afmetingen en uiterlijk betreft.

brengt ook de brandspanning V_{am} en de trekkerdoorslagspanning op de hulpelektrode V_{tb} omhoog, nl. resp. tot 105 V en 125 V.

De buis moet werken in een schakeling die zelfdovende ontladingen oplevert, zowel in de ruimte tussen trekker en katode als in die tussen anode en katode (*fig. 9a*). Anode- en trekkerstroom bestaan derhalve beide uit een opeenvolging van impulsen, en de wisselwerking tussen deze twee maakt een algemene beschouwing van de optredende verschijn-

[8]) F. S. Goulding, Brits octrooi no. 732776.
F. S. Goulding, A variable voltage stabilizer employing a cold-cathode triode, Electronic Eng. **24**, 493-497, 1952 (de Z 800 U wordt hier aangeduid met VX 8107, en de Z 801 U met VX 8086); G. O. Crowther, Cold-cathode voltage stabilizer, Electronic Eng. **25**, 127, 1953.

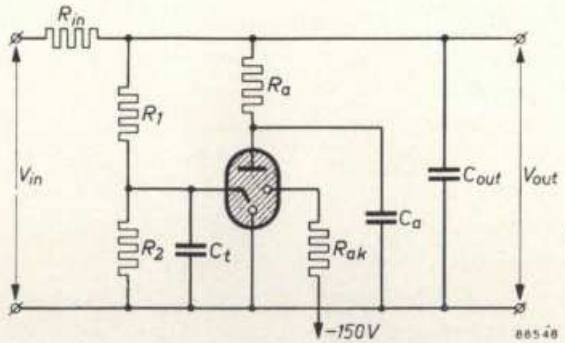


Fig. 8. De stabilisatieschakeling volgens Goulding [8]), waarin de koudekatodebuis type Z 800 U wordt gebruikt. $R_1 = 68$ MΩ, $R_2 = 100$ MΩ, $C_t = 270$ pF, $R_a = 1$ MΩ, $C_a = 0{,}005$ μF, $R_{ak} = 100$ MΩ, $C_{out} = 0{,}25$ μF. De trekkervoedingsspanning is een fractie $R_2/(R_1+R_2)$ van de te stabiliseren uitgangsspanning V_{out}. Zolang dus $V_{out} > V_{tb}\,(R_1+R_2)/R_2$, wordt de buis telkens weer ontstoken, en er zullen stroomimpulsen door de buis vloeien totdat C_{out} zover is ontladen dat de ongelijkheid is verdwenen. Zou V_{out} nog verder dalen, dan wordt de stroom door de buis onderbroken, daar de ontladingen zelfdovend zijn, en C_{out} wordt via R_{in} weer geladen. Aldus wordt V_{out} gestabiliseerd op de waarde $V_{tb}\,(R_1+R_2)/R_2$, zolang althans $I_{in} > I_{out}$.

selen zeer gecompliceerd. Wij zullen ons beperken tot het geval dat de anodevoedingsspanning $V_{as} < V_{ab}$ terwijl $R_aC_a \ll R_tC_t$. Dan is elke anode-impuls noodzakelijkerwijze het directe gevolg van een trekkerimpuls, hoewel de vorm van de anode-impulsen niet afhangt van de inleidende trekkerontladingen (fig. 9*b*).

De gemiddelde anodestroom staat in constante verhouding tot de gemiddelde trekkerstroom; immers, beide worden bepaald door condensatoren die resp. worden geladen tot de (vaste) anodevoe-

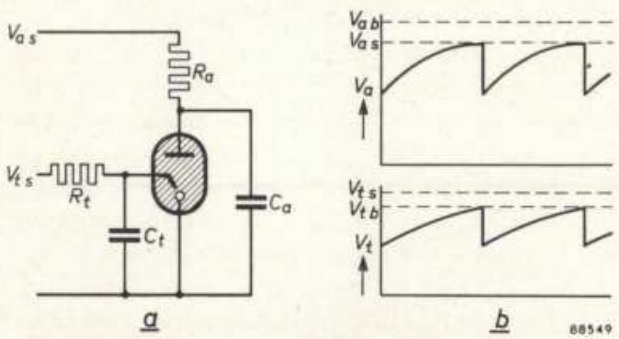


Fig. 9. *a*) Schakeling waarbij zowel in de ruimte tussen anode en katode, als in die tussen trekker en katode een zelfdovende ontlading optreedt. De hulpkatode is ter vereenvoudiging weggelaten. $R_t = 100$ MΩ, $C_t = 470$ pF, $R_a = 1$ MΩ en $C_a = 2000$ pF.
b) De anode- en de trekkerspanning in de schakeling volgens (*a*) als functie van de tijd. Is $R_aC_a \ll R_tC_t$, dan geeft een trekkerimpuls, mits met een amplitude groter dan een zekere waarde, aanleiding tot een onmiddellijk optredende anode-impuls. De anodestroom vloeit ten gevolge van de zelfdovende werking slechts zo kort dat op de schaal van deze figuur het spanningsverloop in die periode, van doorslag tot afbreken van de ontlading, tot een verticale lijn is samengedrongen. De vorm van de anode-impuls is onafhankelijk van de inleidende trekkerontlading.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dingsspanning V_{as} en tot de trekkerdoorslagspanning V_{tb}. Daar de opeenvolging van anode-impulsen kan worden onderbroken zowel als in gang gezet door middel van de trekker, nl. door de trekkervoedingsspanning V_{ts} te variëren, kan de gemiddelde anodestroom $\bar{I}_a$ over een aanzienlijk gebied continu met V_{ts} worden geregeld. De schakeling van fig. 9*a* kan daarom worden gebruikt als gelijkstroomversterker. De versterkingsfactor is Q_a/Q_t, d.w.z. gelijk aan de verhouding van de ladingen van de condensatoren voor de anode- en voor de trekkerontlading.

Om de boven beschreven werking te verkrijgen, is het in de eerste plaats nodig dat de trekker- en de anodeontlading zelfdovend zijn, en in de tweede plaats dat de lading die bij een enkele trekkerimpuls passeert, groot genoeg is om doorslag tussen anode en katode te verzekeren. Deze eis komt in de plaats van die welke in het geval van een niet-zelfdovende ontlading werd vastgelegd door het verband tussen I_t en V_a uit fig. 1. In het geval van zelfdoving is de waarde van de condensator C_t één van de grootheden die men ter verkrijging van de gewenste eigenschappen kan variëren, en men zou dus de invloed van C_t kunnen bestuderen. Het is echter vruchtbaarder de zaak van een andere zijde te benaderen, en de invloed van de trekkervoedingsspanning onder de loep te nemen, zoals hieronder wordt gedaan. (Hoe V_{ab} verandert met C_t, kan worden afgeleid uit fig. 12.)

De kritieke waarde van de trekkervoedingsspanning (V_{tsc})

Men kan voor een zelfdovende schakeling als die in fig. 9*a* de waarde van de anodevoedingsspanning V_{as} waarbij het vloeien van een gemiddelde anodestroom $\bar{I}_a$ nog juist kan worden vastgesteld, uitzetten als functie van de trekkervoedingsspanning V_{ts}. De kromme, welke natuurlijk behalve van de buis ook nog afhangt van de waarden der in de schakeling opgenomen weerstanden en condensatoren, heeft algemeen de in *fig. 10* geschetste vorm. De waarde van V_{ts} die correspondeert met het bijna verticale gedeelte *xy* van de kromme, wordt de „kritieke trekkervoedingsspanning" genoemd. Men laat de buis bij voorkeur in dit gebied van V_{as} werken, daar de vereiste waarde van V_{ts} hier nagenoeg onafhankelijk is van V_{as} (vgl. fig. 2 voor het geval van de niet zelfdovende ontlading).

Naarmate men dieper in het gebied *B* doordringt, groeit $\bar{I}_a$ aan; gaat men terug naar gebied *A*, dan wordt $\bar{I}_a$ weer nul. Het is interessant dit gedrag te vergelijken met de niet-omkeerbare gang der gebeurtenissen in het geval van fig. 2.

De kritieke trekkervoedingsspanning is blijkbaar de trekkerspanning op de drempel van doorslag in de trekkerketen. Deze spanning is samengesteld uit drie componenten:

a) De doorslagspanning V_{tb}, welke tussen trekker en katode moet staan om doorslag teweeg te brengen. Dit is besproken in de voorafgaande paragrafen.

b) De spanning die over R_t komt te staan als gevolg van lekstromen langs de buiswanden. Deze spanning is verwaarloosbaar, doordat de lekstromen zijn teruggebracht tot 10^{-10} A. Dit werd bereikt met twee eenvoudige middelen. Ten eerste door, dicht bij de doorvoeringen door het glas, de reeds genoemde kleine afschermplaatjes aan te brengen om iedere uitgevoerde draad (zie fig. 5): hierdoor werd een klein gebied rondom de doorvoering vrij gehouden van verstuivend katodemateriaal. Ten tweede door de buitenzijde van de buis rondom de doorvoeringen te bespuiten met een silicoonlak ten einde de vorming van een geleidende vochtlaag te verhinderen.

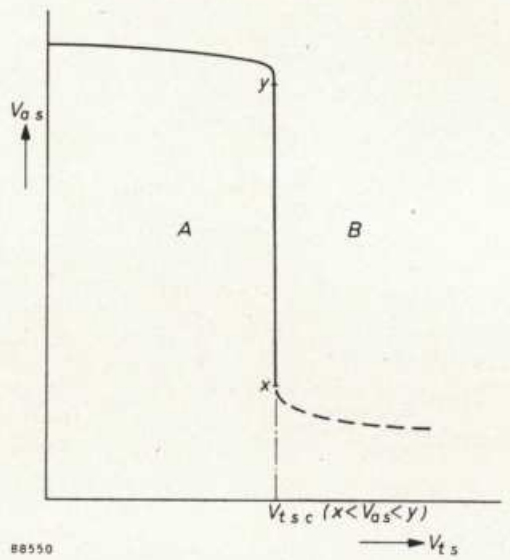


Fig. 10. Verband tussen de waarden van V_{as} en V_{ts} waarbij nog juist een anodestroom vloeit, voor een zelfdovende schakeling. Hieruit blijkt dat de vereiste waarde van de trekkervoedingspanning voor een aanzienlijk gebied van de anodevoedingsspanning (nl. van *x* tot *y*) onafhankelijk is van V_{as}. Deze waarde is V_{tsc} genoemd (kritieke trekkervoedingsspanning).

c) De spanning die over R_t komt te staan als gevolg van de waakstroom, dus de kleine trekkerstroom die vloeit als nog geen doorslag in de trekkerketen optreedt. (De condensator C_t levert pas een bijdrage tot de trekkerstroom als doorslag optreedt.) Deze waarde van de waakstroom geven we het symbool I_{tb}, daar hij de trekkerstroom voorstelt als de trekkerspanning slechts

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

oneindig weinig beneden de doorslagspanning V_{tb} ligt. Treedt de schakeling in werking, dan zal de ingangsstroom — dat is de gemiddelde trekkerstroom — groter zijn dan I_{tb}, en daar wij de eis hebben gesteld dat de ingangsstroom beneden 10^{-7} A moet blijven, moet I_{tb} zeker kleiner zijn dan 10^{-7} A. I_{tb} hangt af van een aantal der parameters van de schakeling en van de buis. Dit zullen wij nu nader bespreken.

De ingangsstroom op de drempel van doorslag (I_{tb})

De invloed van vier variabelen op I_{tb} werd op onderstaande wijze onderzocht.

1) De invloed van de anodevoedingsspanning V_{as}. In *fig. 11* ziet men het verband tussen V_{as} en V_{ts} voor twee waarden van R_t. Daar bij deze metingen de veranderingen in de aangelegde spanningen langzaam verliepen, kon het verschil tussen de twee krommen alleen een gevolg zijn van de spanningsval over R_t, veroorzaakt door een lekstroom samen met I_{tb} (geen invloed van C_t). De lekstroom (10^{-10} A) kan, bij de gebruikte weerstanden (10 MΩ and 68 MΩ) slechts een verschuiving over 0,006 V opleveren. De waargenomen verschuiving van circa 1 V komt dus vrijwel geheel voor rekening van I_{tb}; de waarde van I_{tb} is dus $10^{-10} \times 1/0{,}006 \approx 2 \times 10^{-8}$ A. Men zal opmerken dat de verschuiving binnen een aanzienlijk gebied van de anodevoedingsspanning constant is: dit betekent dat I_{tb} onafhankelijk is van V_{as}.

2) De invloed van de hulpkatodestroom I_{ak}. Fig. 11 geldt voor $I_{ak} = 3$ μA. Varieert men I_{ak} tussen 1 en 10 μA, dan blijkt I_{tb} slechts weinig te veranderen. Dit ietwat onverwachte resultaat is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat de hulpontlading begint bij het einde van de cilindervormige hulpkatode en zich naar binnen uitbreidt als deze ontladingsstroom aangroeit.

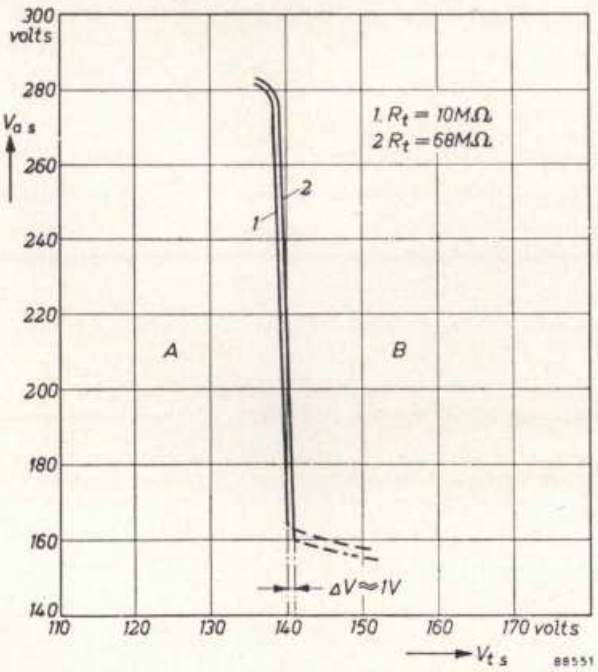


Fig. 11. Verband tussen V_{ts} en V_{as} voor twee waarden van de trekkerweerstand R_t. Capaciteit C_t = 1000 pF. Uit de afstand tussen de twee krommen kan de waarde worden afgeleid van de trekkerstroom (= ingangsstroom) op de drempel van doorslag.

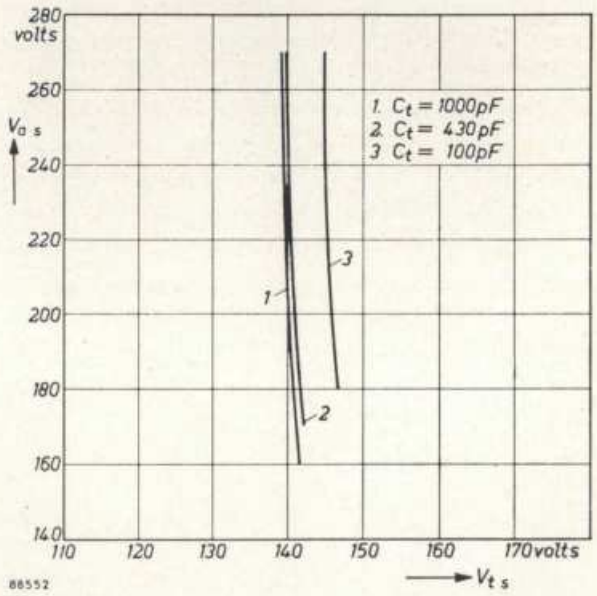


Fig. 12. De invloed op de V_{as}-V_{ts}-karakteristiek van de capaciteit C_t geschakeld tussen trekker en katode. Trekkerweerstand R_t = 68 MΩ.

3) De invloed van de condensator C_t. In *fig. 12* is nogmaals het verband tussen V_{ts} en V_{as} uitgezet, nu voor een constante waarde R_t, maar voor drie waarden van C_t. Hoe lager de waarde C_t is, des te hoger is V_{tsc}; dit betekent dat ook I_{tb} toeneemt. Er is derhalve een onderste grens voor de toelaatbare waarde van C_t, als men ten minste I_{tb} beneden 10^{-7} A wil houden.

4) De invloed van de afstand tussen trekker en katode. Daar geen afstandsplaatjes zijn aangebracht, is een zekere spreiding in deze afstand onvermijdelijk. In buizen waarbij de afstand aan de kleine kant was, traden nu en dan grote waarden op van I_{tb} (10^{-6} A), wat zichtbaar werd doordat dan een corona om de draadvormige ontsteekelektrode ontstond in plaats van de normale glimontlading dicht bij de katode. Deze moeilijkheid kwamen wij te boven door de afstand tussen ontsteekelektrode en katode van 1 mm tot 3 mm te vergroten. Hierdoor werd

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de trekkerdoorslagspanning V_{tb} tussen ontsteekelektrode en katode ook vergroot, nl. van 125 tot 135 V.

Gedrag in een stabilisatieschakeling

De bovenbeschreven onderzoekingen toonden dat de oorspronkelijke experimentele buis met zeer kleine wijzigingen tot een bevredigend gedrag in een zelfdovende schakeling met zeer gering stroomverbruik door de trekker was te brengen.

Bij de eerder genoemde beperkingen ($V_{as} < V_{ab}$, $R_a C_a \ll R_t C_t$) levert een vergroting van V_{ts} boven de waarde V_{tsc} een eindige gemiddelde anodestroom $\bar{I}_a$, waarvan de waarde, voor een gegeven stel voedingsspanningen en netwerkelementen, afhangt van V_{tsc} en van de brandspanningen voor resp. de anode- en de trekkerontlading. Daar V_{tsc} en de beide laatstgenoemde grootheden constant zijn voor een gegeven buis, kan de buis worden gebruikt ter stabilisatie van een voedingsspanning zoals in de schakeling van Goulding is gedaan (fig. 8). De wijze waarop hier de stabilisatie wordt teweeggebracht, blijkt uit de figuur en het onderschrift.

Deze stabilisatieschakeling, waarbij de buis Z800U wordt gebruikt, heeft de volgende belangrijke eigenschappen.

a) Zij werkt in een gebied van spanningen (200-300 V) dat niet gemakkelijk kan worden bestreken met een diode met glimontlading of met coronaontlading.

b) Haar gebied van stroomsterkten is 5-150 μA. Diodes met glimontlading zijn in dit gebied meestal niet goed te gebruiken. Diodes met corona-ontladingen bestrijken hetzelfde gebied van stroomsterkten, maar zijn veel minder constant van eigenschappen gedurende de levensduur.

c) De uitgangsspanning kan worden ingesteld door de verhouding $R_2/(R_1+R_2)$ te regelen (zie fig. 8); zij kan op deze wijze over een aanzienlijk gebied worden gevarieerd en aldus worden aangepast aan de spreiding der eigenschappen van de te gebruiken geigertellers.

De eigenschappen van de Z800U kunnen ook voordelen opleveren in meer conventionele schakelingen, waarbij geen zelfdoving optreedt. Bij behoud van de trekkercondensator C_t kan men werken met kleine signaalstromen (tot 10^{-8} A). Indien men de hulpontlading laat vervallen en het optreden van statistische vertraging accepteert, kan men zelfs werken met een ingangsstroom die slechts 10^{-10} A bedraagt.

De buis voor telfrequentiemeters

De buis type Z801U [9]) is ontwikkeld voor toepassing in schakelingen voor het meten van telsnelheden (telfrequenties), d.w.z. schakelingen die een uitgangsstroom leveren die evenredig is met het aantal impulsen dat per seconde aan de ingang wordt toegevoerd. Deze impulsen waren in het onderhavige geval afkomstig van een Geiger-Müller-buis, maar de verkregen resultaten zijn van toepassing op elk systeem dat impulsen van constante grootte en lengte verwerkt.

Het principe van de schakeling van Franklin [10]) voor een telfrequentiemeter met relaisbuis is weergegeven in *fig. 13a*. Van de voordelen van deze schakeling willen we hier slechts summier spreken.

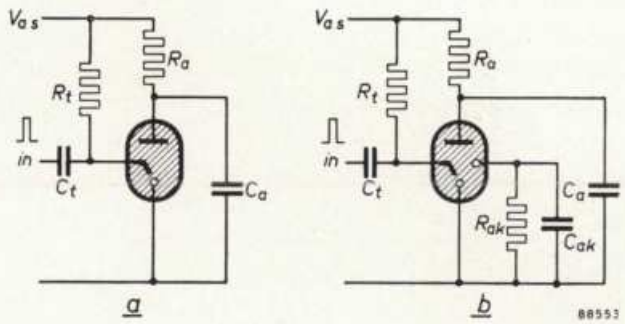


Fig. 13. *a*) Principeschema van de telfrequentiemeter van Franklin [10]).
b) De telfrequentiemeter van Franklin, waarin een koudekatodebuis met vier elektrodes wordt gebruikt. Typische waarden voor de netwerkelementen zijn: $R_t = 100$ MΩ, $C_t = 50$ pF, $R_a = 200$ kΩ, $C_a = 0{,}01$ μF, $R_{ak} = 1$ MΩ, $C_{ak} = 50$ pF.

Telkens als door een impuls op de trekker de buis wordt ontstoken, doorloopt de anodeketen een enkele zelfdovende cyclus. Mits er voldoende tijd is voor de anodespanning, om na de doorzwaai naar beneden de waarde V_{as} weer te bereiken voordat de volgende impuls arriveert, zal I_a evenredig zijn met het aantal arriverende impulsen. Doordat de trekker via een zeer grote weerstand R_t met de anode is verbonden, ligt de rustspanning op de trekker dicht bij de doorslagwaarde. Hiermee bereikt men twee dingen: er ontstaat een waakstroom van het directe type (zie vroeger) tussen trekker en katode zonder dat hiervoor een vierde elektrode nodig is, en zelfs de kleinste impuls aan de ingang zal de trekkerspanning boven de doorslagwaarde doen stijgen.

Om deze schakeling bevredigend te doen werken, moeten drie voorwaarden vervuld zijn:

---

[9]) C. H. Tosswill, Brits octrooi no. 696077.
[10]) E. Franklin, Brits octrooi no. 638833.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

a) De waakstroom moet niet zo groot zijn dat de grens van de stabiliteit wordt overschreden, d.w.z. de waakstroom moet kleiner zijn dan I_{tb}. Of deze waakstroom $>I_{tb}$ of $<I_{tb}$, hangt af van de waarden van R_t en C_t (fig. 13*a*).

b) In deze schakeling zal de ingangsimpuls zijn gehele lading (Q_{in}) door de buis sturen. Er bestaat bij gegeven V_{as} een minimaal vereiste waarde van Q_{in} voor anodedoorslag.

c) De anode- en de trekkerontlading moeten beide zelfdovend zijn.

Er is een experimentele triode geconstrueerd om de in een telfrequentiemeter gestelde eisen te bestuderen. Hierbij werd weer gebruik gemaakt van het gedeeltelijk verstuiven van de molybdeniumkatode, en de neon-argonvulling was dezelfde als die in de stabiliseerbuis. Ook de afschermplaatjes om de elektrodedoorvoeringen — die essentieel zijn om de lekweerstanden groot te houden vergeleken met R_t ($R_t \approx 10^8$ ohm) — werden weer aangebracht. Ten behoeve van een instrument voor stralingsmetingen moeten de volgende eisen worden gesteld:

1) De „doofstroom" moet op zijn minst 210 μA bedragen om bij de te verwachten telfrequentie een geschikte waarde van $\bar{I}_a$ te krijgen. Met doofstroom bedoelen we de stroom die door R_a vloeit wanneer de doorzwaai van de anodespanning naar beneden zijn laagste punt bereikt, waarbij aan R_a de kleinste voor zelfdoving voldoende waarde is gegeven. In het geval van de experimentele triode was deze doofstroom slechts 70 μA.

2) Indien men een betrouwbare reactie op door Geiger-Müller-buizen geleverde signalen wil verzekeren, mag de ingangslading Q_{in} nodig om doorslag te veroorzaken, niet groter zijn dan ca. 5×10^{-11} coulomb.

3) Het frequentiegebied behoort bij voorkeur te gaan tot 10 kHz. Bij de triode liep dit gebied slechts tot 1 kHz.

Het lijkt moeilijk aan deze eisen tegelijk te voldoen, daar verbetering op één der punten ten koste van de andere punten zou gaan. Door echter na te gaan hoe de doofstroom kan worden vergroot zonder op andere punten te verliezen, wordt men op het idee gebracht de functies ontsteking en doving te scheiden, om aldus deze twee onafhankelijk van elkaar te kunnen regelen. Dit leidt opnieuw tot een tetrode, hoewel nu om andere redenen dan in het geval van de stabiliseerbuis. De bijbehorende schakeling ziet men in figuur 13*b*. Bij de eerste tetrode voor telfrequentiemetingen deed als vierde elektrode (hulpkatode) een geperforeerde schijf dienst, die geplaatst was in de weg van de ontlading naar de hoofdkatode (*fig. 14*). Een ingangsimpuls werd nu gevolgd door doorslag tussen anode en hulpkatode. De ontlading tussen deze elektrodes had,

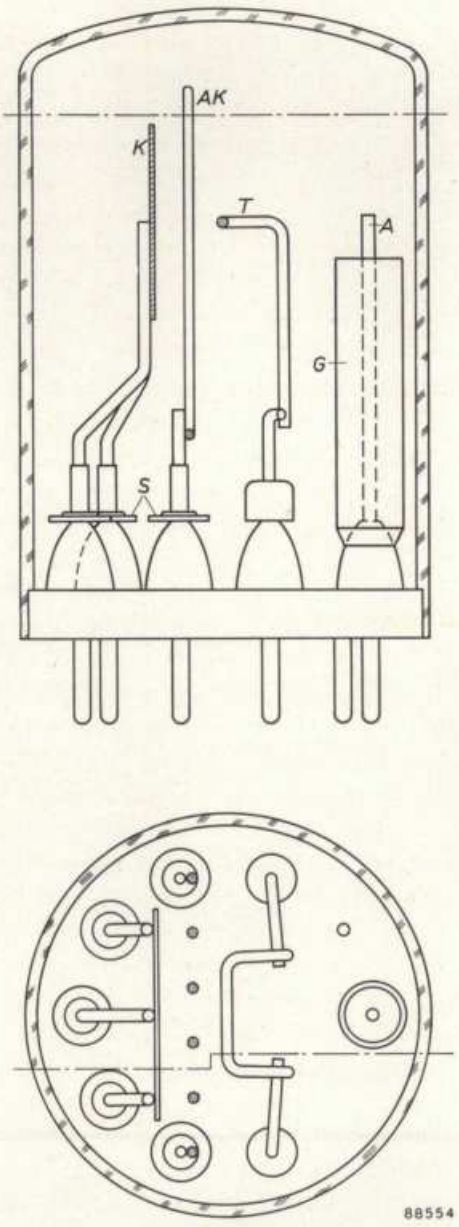


Fig. 14. Opstelling van de elektrodes (schematisch) in de relaisbuis Z 801 U, bestemd voor telfrequentiemetingen. *K* katode, *AK* hulpkatode, *T* ontsteekelektrode, *A* anode. *S* afschermplaatjes, *G* glazen afschermbuisje om de anode. Bij de experimentele uitvoering van deze buis bestond de hulpkatode niet uit een draadrooster, maar uit een geperforeerde schijf.

ten gevolge van de aanwezigheid van R_{ak} en C_{ak} (fig. 13*b*), een stijging van de potentiaal van de hulpkatode tot gevolg. Was deze potentiaal voldoende gestegen, dan breidde de doorslag zich uit tot de hoofdkatode; daarna volgde de normale neerwaartse zwaai van de anodepotentiaal. Op dit punt bleek, zoals ook werd verwacht, dat de door de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hulpkatode gevormde belemmering de overgang naar een continue glimontlading tussen anode en hoofdkatode verhinderde, waardoor de ontlading afbrak bij een grotere doofstroom dan eerst het geval was. De werking van de trekker bleef dezelfde als in de triode, behalve dat de hulpkatode optrad als katode voor de trekkerdoorslag. De bijdrage van de hulpkatode tot het doven is dat zij het verschil vergroot tussen de normale brandspanning voor een continue lading en de minimale waarde die in de doorzwaai van de anodepotentiaal wordt bereikt.

De tetrode Z 801 U heeft een doofstroom van 240 μA vergeleken met de 70 μA van de triode; de ingangsgevoeligheid en de frequentiekarakteristiek zijn ongewijzigd. In de productie werd de geperforeerde schijf vervangen door een rooster van draad. De buis heeft een gasvulling van neon met 5% argon.

Schakeling voor negatieve impulsen

Koudekatodebuizen met drie elektrodes worden normaliter ontstoken door een positieve trekkerimpuls, en dit gebeurde ook met de eerste tetrodes van het type Z 801 U. Geiger-Müller-buizen echter werken gewoonlijk beter als hun katode is geaard en dan leveren zij negatieve impulsen. Het bleek nu dat buizen van het type Z 801 U kunnen worden ontstoken door een negatieve impuls [11]) op de hulpkatode (*fig. 15a*). De volgorde van doorslag tussen de verschillende elektrodes is nu anders: de ingangslading passeert tussen trekker en hulpkatode, dan volgt doorslag tussen trekker en hoofdkatode; ten slotte volgt doorslag tussen anode en hoofdkatode. Afgezien van het gemak dat de schakeling voor negatieve impulsen oplevert bij gebruik van Geiger-Müller-buizen, heeft deze schakeling nog drie belangrijke voordelen. In de eerste plaats is er een opvallende winst in gevoeligheid: een ingangslading Q_{in} van 3×10^{-11} coulomb is voldoende, terwijl bij een positieve impuls 5×10^{-10} coulomb nodig is. In de tweede plaats is de ingangslading Q_{in} constant voor een groot gebied van waarden voor V_{as}; dit maakt dat in de praktijk de vergelijking wat betreft de gevoeligheid nog meer in het voordeel van de schakeling voor negatieve impulsen uitvalt. In de derde plaats is er, daar de functie van de hulpkatode om doorslag in te leiden nu is geëindigd als de signaallading is gepasseerd, geen bezwaar een impedantie in de keten van de hulpkatode op te nemen, waardoor instabiliteit wordt voorkomen, zelfs als de waakstroom gelijk wordt aan I_{tb}.

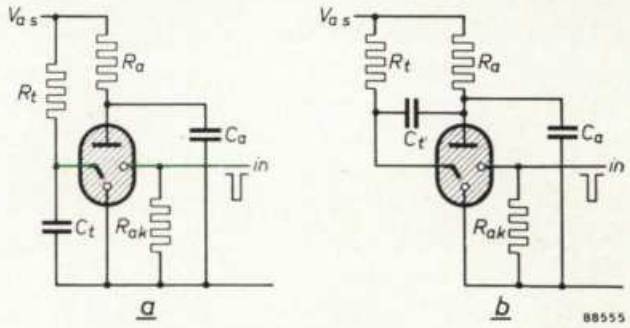


Fig. 15. *a*) Schakeling van een telfrequentiemeter voor negatieve impulsen. *b*) Idem, voor hogere telfrequenties. Typische waarden der netwerkelementen: $R_t = 100$ MΩ, $C_t = 100$ pF, $R_a = 200$ kΩ, $C_a = 0{,}01$ μF, $R_{ak} = 1$ MΩ.

De betere gevoeligheid van de schakeling voor negatieve impulsen is te danken aan het feit dat de aan het ingangssignaal toegewezen taak is verlicht. Het essentiële verschil tussen de twee werkwijzen is dat als aan de hulpkatode een negatieve impuls wordt toegevoerd, de trekkerontlading slechts behoeft te worden uitgebreid over de kleine opening tussen hulp- en hoofdkatode in plaats van over de veel grotere opening tussen trekker en anode. Deze verklaring van de werking wordt ondersteund door het reeds vermelde feit dat Q_{in} niet met V_{as} varieert, terwijl dit wel het geval is in de schakeling voor positieve impulsen. De doorslag tussen de trekker en de hoofdkatode wordt door V_{as} nagenoeg niet beïnvloed. De verandering van de trekkerspanning (ongeveer 40 volt) zal ca. 4×10^{-9} coulomb vrijmaken, wat voldoende is om anodedoorslag op te leveren bij tamelijk kleine anodevoedingsspanningen V_{as}.

De maximale telfrequentie

Het verband tussen R_a en de tijdconstante R_aC_a van de anodeketen, voor waarden van de weerstand in de hulpkatodeketen tussen 4 en 20 MΩ, is zodanig dat voor de normale anodezwaai van 70 volt een geschikte doofstroom optreedt, zelfs als $R_aC_a = 300$ μs. Hier tegenover staat dat de tijdconstante van de trekkerketen 10 ms bedraagt voor de getalwaarden aangegeven in fig. 15. Hierdoor begrenst de trekkerketen de telfrequentie; de waarde van 10 ms is te lang voor de te verwachten telfrequenties. Deze moeilijkheid werd overwonnen door C_t te verbinden met de anode in plaats van met de katode (fig. 15*b*). Als $C_a \gg C_t$, heeft dit weinig invloed op het verloop van de anodespanning als functie van de tijd, terwijl de trekkerpotentiaal — na een

[11]) F. S. Goulding en C. H. Tosswill, Brits octrooi no. 723892.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verlaging — zich door het opvangen van positieve ionen aan het einde van de anodezwaai weer herstelt tot een waarde die normaal is voor dit stadium van de cyclus. Daarna stijgen de potentialen van de anode en de ontsteekelektrode gezamenlijk en herstelt de gehele schakeling zich weer voor de volgende impuls.

Totdat de bovengenoemde verandering was aangebracht, was aangenomen dat de terugkeer naar de normale ingangsgevoeligheid alleen afhing van de voltooiing van het herstel van de schakeling en van de hernieuwde instelling van de waakstroom. Het leek bovendien waarschijnlijk dat een nog niet volledige deïonisatie de schakeling tijdelijk bijzonder gevoelig zou maken. Deze verwachtingen werden door de praktijk echter niet bevestigd. In *fig. 16*

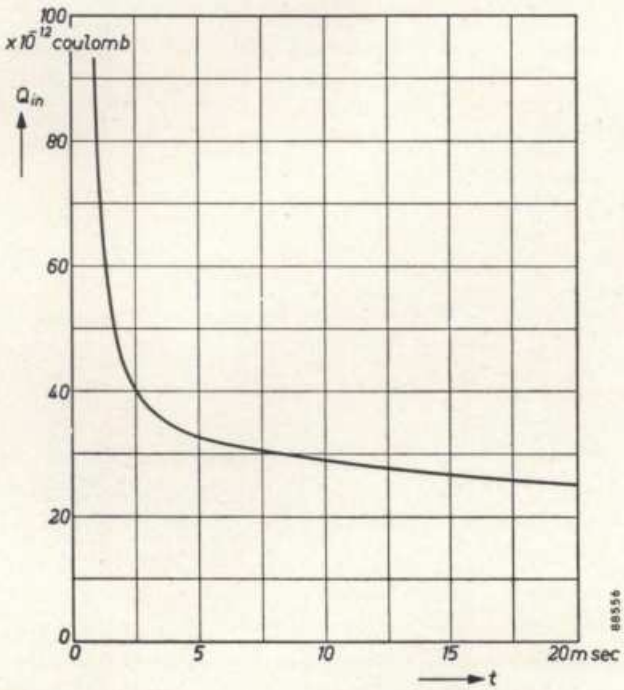


Fig. 16. Het herstel van de ingangsgevoeligheid. Ca. 1 ms na de hoofdontlading bedraagt de ingangslading Q_{in} die een hernieuwde doorslag van de buis tot gevolg heeft ca. 5×10^{-11} coulomb. Na 10 ms is Q_{in} 3×10^{-11} coulomb geworden, terwijl de gevoeligheid nog steeds langzaam verbetert.

is de verandering van de vereiste Q_{in} uitgezet als functie van de tijd die verlopen is sedert de voorafgaande ingangsimpuls. Na ca. 1 ms is de schakeling reeds weer in evenwicht, maar zelfs na 10 ms neemt de gevoeligheid nog steeds enigszins toe.

De conclusie moet blijkbaar zijn dat de goede werking van de Z801 U afhangt van de ontwikkeling van een zeer kleine, niet-stabiele ontlading tussen trekker en hoofdkatode, en dat deze niet-stabiele ontlading niet kan optreden voordat het algemene niveau van de ionisatie in de buis zover is gedaald dat de stroom I_{th} door de weerstand in de trekkerketen niet meer uitsluitend door het opvangen van ionen tot stand kan komen. Deze deïonisatie gaat vrij langzaam, daar zij wordt vertraagd door de aanwezigheid van metastabiele atomen en door een zekere mate van vervanging der ionen nadat de schakeling zich heeft hersteld.

De remedie voor de vertraging moet men blijkbaar zoeken in het versnellen van de deïonisatie. In laboratoriummodellen werd dit bereikt door ze te voorzien van een „elektronenlabyrint", waarin de ontlading niet in een open ruimte plaats heeft, maar in nauwe doorgangen. Daar voor het doel waarvoor de buis Z801 U bestemd was, het frequentiegebied dat wordt bestreken met de normale opstelling van de elektrodes voldoende was (tot 1000 Hz), bleek het achteraf onnodig het frequentiegebied tot 10 kHz uit te breiden.

Ladingsversterking

In de schakeling voor telfrequentiemetingen, waarvoor de Z801 U is ontwikkeld, is het de taak van de buis om aan de uitgang een grote, constante lading te leveren, iedere keer dat de buis wordt ontstoken door een kleine ladingsimpuls, die niet groter behoeft te zijn dan 3×10^{-11} coulomb. Voor zover ons bekend, is dit een veel grotere ingangsgevoeligheid dan men met enig ander type koudekatodebuis heeft bereikt. De buis levert bij lage frequenties een versterking van niet minder dan 10^4, want de uitgangslading kan 5×10^{-7} coulomb bedragen.

Als het wenselijk is gebruik te maken van ingangsimpulsen van 1 volt of minder, moet de effectieve ingangscapaciteit ten minste 30 pF bedragen. Een capaciteit van deze grootte zou de stabiliteit van de trekkerketen verstoren en daarom moet zij van de buis worden gescheiden door seleniumdiodes [12]).

In hetzelfde apparaat waarin de Z801 U de taak van het meten van telfrequenties is toebedeeld, wordt deze buis thans ook toegepast in een variant van de stabilisatieschakeling van Goulding, welke variant een spanning van ca. 155 volt levert.

De beide boven beschreven buizen zijn speciaal ontwikkeld voor de besproken toepassingen, nl. als stabiliseerbuis en voor telfrequentiemetingen. Er is nog een derde buis ontwikkeld, de Z803 U, voor meer algemene toepassingen. In deze buis wordt de waakstroom van ca. 10 μA geleverd door een anode; hij vloeit tussen deze anode en de katode in een ruimte die van de ruimte tussen trekker

[12]) Zie het in [8]) aangehaalde artikel van F. S. Goulding.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

en katode is afgeschermd. De buis heeft dezelfde stabiele ontsteekeigenschappen als zijn beide voorgangers; de nominale trekkerdoorslagspanning V_{tb} is 132 V. De anodedoorslagspanning is 290 V, en de brandspanning V_{am} bedraagt 105 V. De buis kan een gemiddelde stroom van 8 mA leveren.

Er wordt in Eindhoven nog gewerkt aan de ontwikkeling van een koudekatodebuis in subminiatuur voor algemene doeleinden, de Z 70 U. Deze buis kan worden gebruikt met een hogere voedingsspanning dan de Z 803 U, maar de gemiddelde stroom die hij kan leveren is geringer. Te zijner tijd zal over deze ontwikkeling in dit tijdschrift een artikel verschijnen.

Met dank vermelden wij dat de heren E. Franklin, K. Kandiah en F. S. Goulding van de Elektronische afdeling van het Atomic Energy Research Establishment te Harwell onder leiding van Dr. D. Taylor belangrijke bijdragen tot het hier beschreven onderzoek hebben geleverd.

Samenvatting. Na een korte inleiding over de werking en de eigenschappen van relaisbuizen met koude katode wordt de ontwikkeling beschreven van twee speciale buizen van dit type voor gebruik in een meter voor radioactieve straling. Twee van de maatregelen die werden genomen om de betrouwbaarheid en de prestaties op te voeren, worden besproken: er worden molybdeniumelektrodes gebruikt die gedeeltelijk worden verstoven, en er wordt gezorgd voor een waakstroom die het optreden van statistische vertragingen voorkomt. Beide buizen zijn ontworpen om te werken in zelfdovende schakelingen. De eerste buis heeft een hulpkatode (en is dus een tetrode) en dient om een gestabiliseerde voedingsspanning voor geigertellers te leveren. De aan de schakeling te stellen eisen worden besproken. Voordelen van deze stabiliseerbuis zijn dat hij werkt in een gebied van spanningen (200-300 V) en stromen (5-10 μA) dat anders slechts door ingewikkelder voorzieningen bestreken wordt, en dat de gestabiliseerde uitgangsspanning op eenvoudige wijze kan worden ingesteld met behulp van twee weerstanden. De tweede buis dient als telfrequentiemeter voor het tellen van impulsen afkomstig van geigertellers. Ook deze buis is een tetrode, maar verschilt van de stabiliseerbuis doordat de elektrode die de waakstroom levert — eveneens een hulpkatode — in de weg van de hoofdontlading ligt en aldus een waakontlading van het directe type oplevert. Een bijzondere eigenschap van deze buis is zijn uitzonderlijke gevoeligheid: wordt een schakeling voor negatieve impulsen gebruikt, dan slaat de buis reeds door bij een ladingsimpuls aan de ingang van 3×10^{-11} coulomb. Ook deze buis kan als spanningsstabiliseerbuis worden gebruikt.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLIKATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publikaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van Philips' Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven, op aanvraag overdrukken.

2328: W. J. Oosterkamp, G. M. Ardran e.a.: Discussion on "Image intensification in radiology" (Proc. Instn. Electr. Engrs. **102B**, 845-849, 1955, no. 6).

Korte inleidingen door Dr. Oosterkamp als fysicus en Dr. Ardran (The Nuffield Institute for Medical Research, Oxford) als medicus over de röntgen-beeldversterker, met de daarop volgende discussie, op een in mei 1955 gehouden speciale vergadering van "The Institution of Electrical Engineers".

2329: C. Z. van Doorn en Y. Haven: Dichroism of the F and M absorption bands in KCl (Phys. Rev. **100**, 753, 1955, no. 2).

Een additief gekleurd KCl-kristal (d.w.z. gekleurd door verhitting in K-damp, waardoor het kristal een overmaat K-ionen opneemt), dat zowel *F*- als *M*-absorptiebanden vertoont, wordt dichroïtisch (d.w.z. de absorptie van gepolariseerd licht wordt afhankelijk van de onderlinge oriëntatie van het kristal en de polarisatierichting van het licht) als men het bij 77 °K intensief bestraalt met gepolariseerd licht dat in de *F*-band geabsorbeerd wordt (*F*-licht). Dichroïsme treedt zowel op in de *F*- als in de *M*-band. Een kristal dat alleen een *F*-absorptieband bezit, vertoont geen dichroïsme na de genoemde bestraling. Deze, en ook andere, feiten wijzen erop dat de *M*-centra die de *M*-absorptie veroorzaken, anisotroop zijn en gericht zijn langs de tweetallige symmetrieassen van het kubische KCl-kristal. In kristallen die zowel een *F*- als een *M*-absorptieband vertonen, moet de absorptie in deze *F*-band op zijn minst gedeeltelijk aan *M*- in plaats van aan *F*-centra worden toegeschreven. Het dichroïsme wordt toegeschreven aan een heroriëntatie van de *M*-centra door ionenverplaatsingen ten gevolge van de intensieve bestraling met *F*-licht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!